



TUGAS AKHIR - TL141584
STUDI PENGARUH KATALIS CURING (*CURING CATALYST*) BENZOIL PEROKSIDA TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN STABILITAS TERMAL KARET SILIKON (*SILICONE RUBBER*)

DENI BUDI UTOMO
NRP. 2711 100 091

Dosen Pembimbing
Dr.Eng. Hosta Ardhyanta. ST., M.Sc

Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2015

Halaman ini sengaja dikosongkan



FINAL PROJECT - TL141584
STUDY THE EFFECTS OF BENZOYL PEROXIDE CURING
AGENT ON THE TENSILE STRENGTH AND THERMAL
STABILITIES OF SILICON RUBBER

DENI BUDI UTOMO
NRP. 2711 100 091

Advisor
Dr.Eng. Hosta Ardhyanta. ST., M.Sc

Materials and Metallurgical Engineering Dept.
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2015

Halaman ini sengaja dikosongkan

***STUDI PENGARUH CURING CATALYST (KATALIS
CURING) BENZOIL PEROKSIDA TERHADAP
KEKUATAN TARIK DAN STABILITAS TERMAL
KARET SILIKON (SILICONE RUBBER)***

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada
Bidang Studi Material Inovatif
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

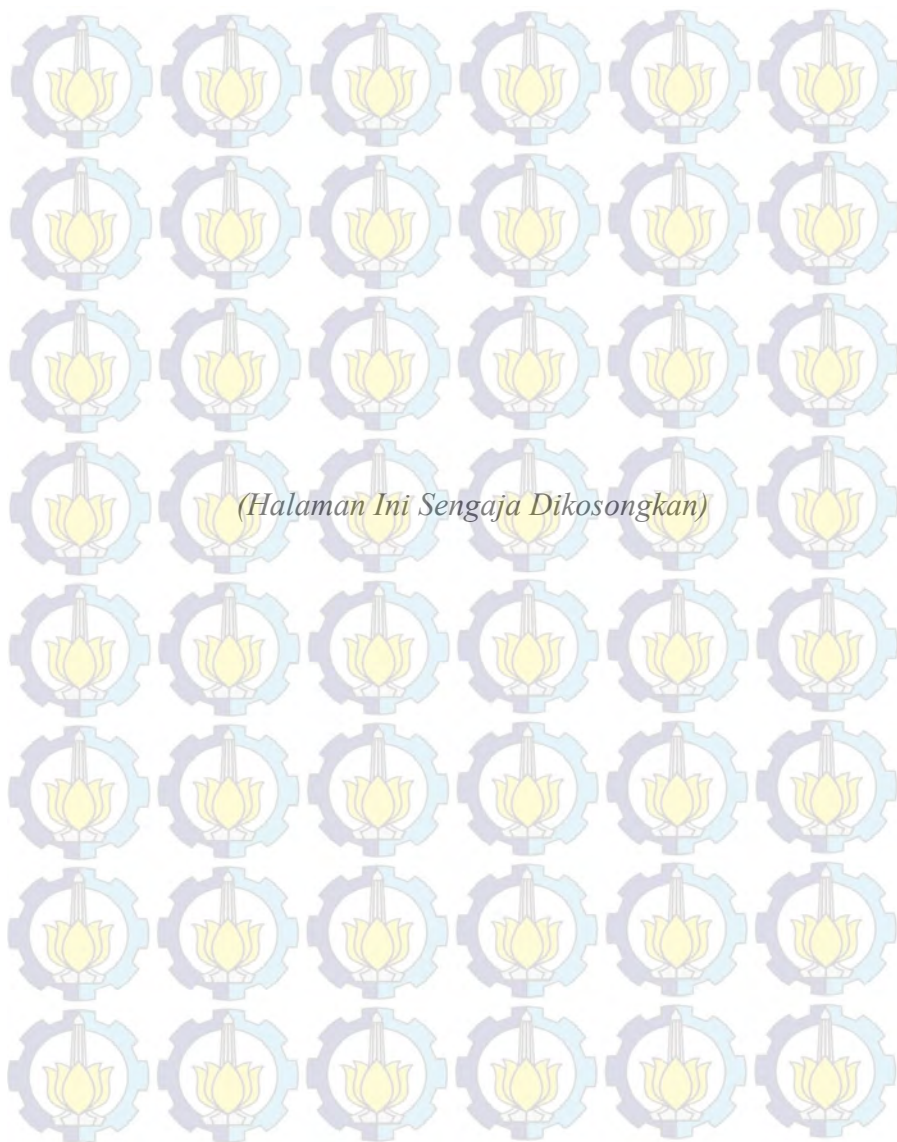
Oleh :

DENI BUDI UTOMO
NRP. 2711 100 091

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

Dr.Eng. Hosta Ardhyanta. ST., M.Sc..... (Pembimbing)

SURABAYA
JANUARI 2015



STUDI PENGARUH KATALIS CURING (*CURING CATALYST*) BENZOIL PEROKSIDA TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN STABILITAS TERMAL KARET SILIKON (*SILICONE RUBBER*)

Nama Mahasiswa : Deni Budi Utomo

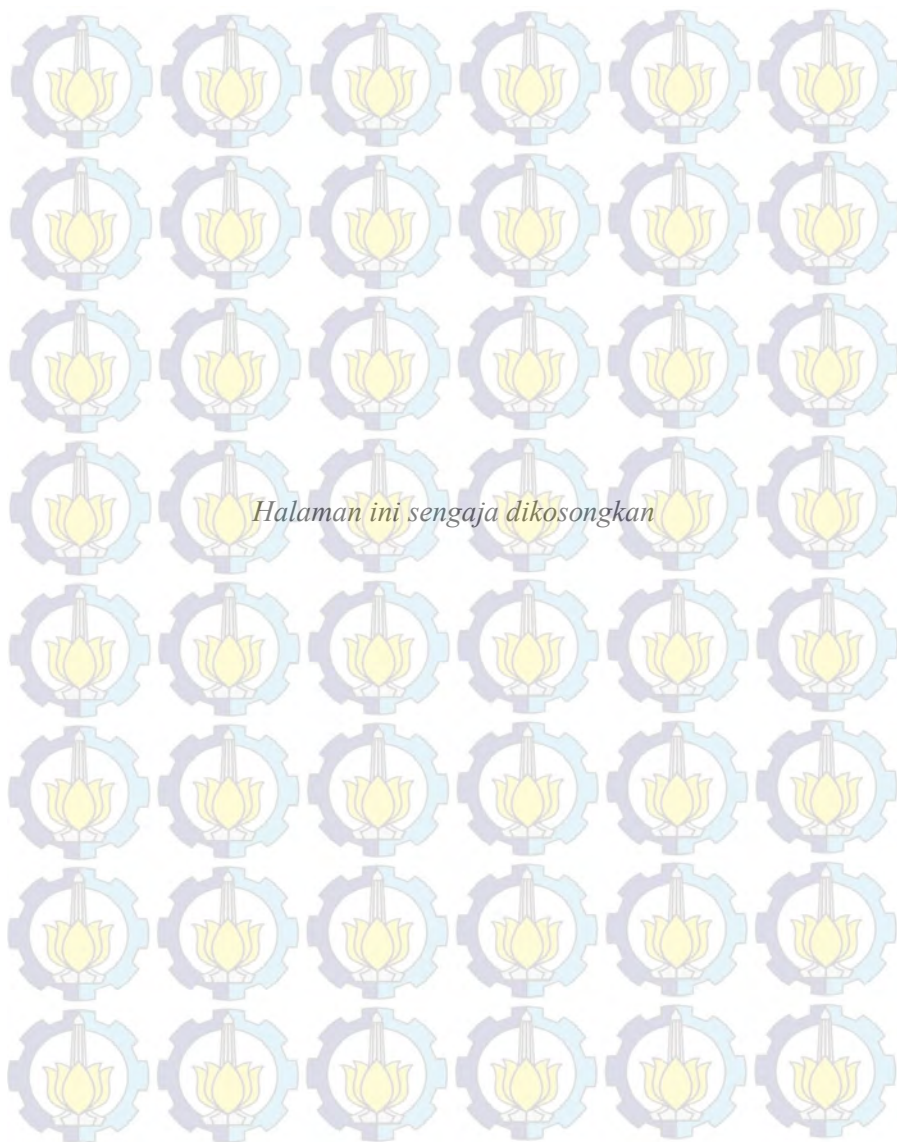
NRP : 2711 100 091

Dosen Pembimbing : Dr.Eng. Hosta Ardhyananta,ST.,M.Sc

Abstrak

Preparasi dan karakterisasi karet silikon (*silicone rubber*) Polidimetilsiloksan (PDMS) telah berhasil dibuat melalui proses curing/vulkanisasi. Karet silikon dipreparasi dengan penambahan katalis curing (*curing catalyst*). Proses curing/vulkanisasi/pematangan menggunakan *curing catalyst Bluesil 60R* (komersial), katalis Benzoil peroksida, Hidrogen peroksida, Trietilamin dan Etilmetilketon dengan variasi komposisi katalis 2,4, 6, 8 dan 10 wt%. Jenis pengujian meliputi FTIR, uji Tarik, uji Tekan, morfologi dan stabilitas termal. Hasil penelitian menunjukkan *curing agent* (katalis) yang dapat mematangkan hanyalah *Bluesil Catalyst 60R Dioctyle tin Oxide* (komersial) dan Benzoil peroksida. FTIR menunjukkan terbentuknya ikatan *crosslink* pada struktur PDMS dengan terbentuknya ikatan $\text{CH}_2\text{-CH}_2$. Hasil uji Tarik menunjukkan semakin bertambahnya komposisi katalis hingga 6% kekuatan Tarik meningkat dan menurun saat komposisi lebih dari 6%. Kekuatan tekan dari karet silikon menunjukkan semakin meningkatnya komposisi maka kekuatan tekannya semakin besar. Morfologi dari karet silikon menunjukkan bentuk *polyghonal pores (not connected pores)*. Stabilitas termal dari karet silikon baik dengan penambahan katalis maupun tanpa penambahan katalis menunjukkan tidak terlalu signifikan perbedaan stabilitas termal dari karet silikon.

Kata kunci : karet silikon, kekuatan Tarik, stabilitas termal, jenis katalis, vulkanisasi

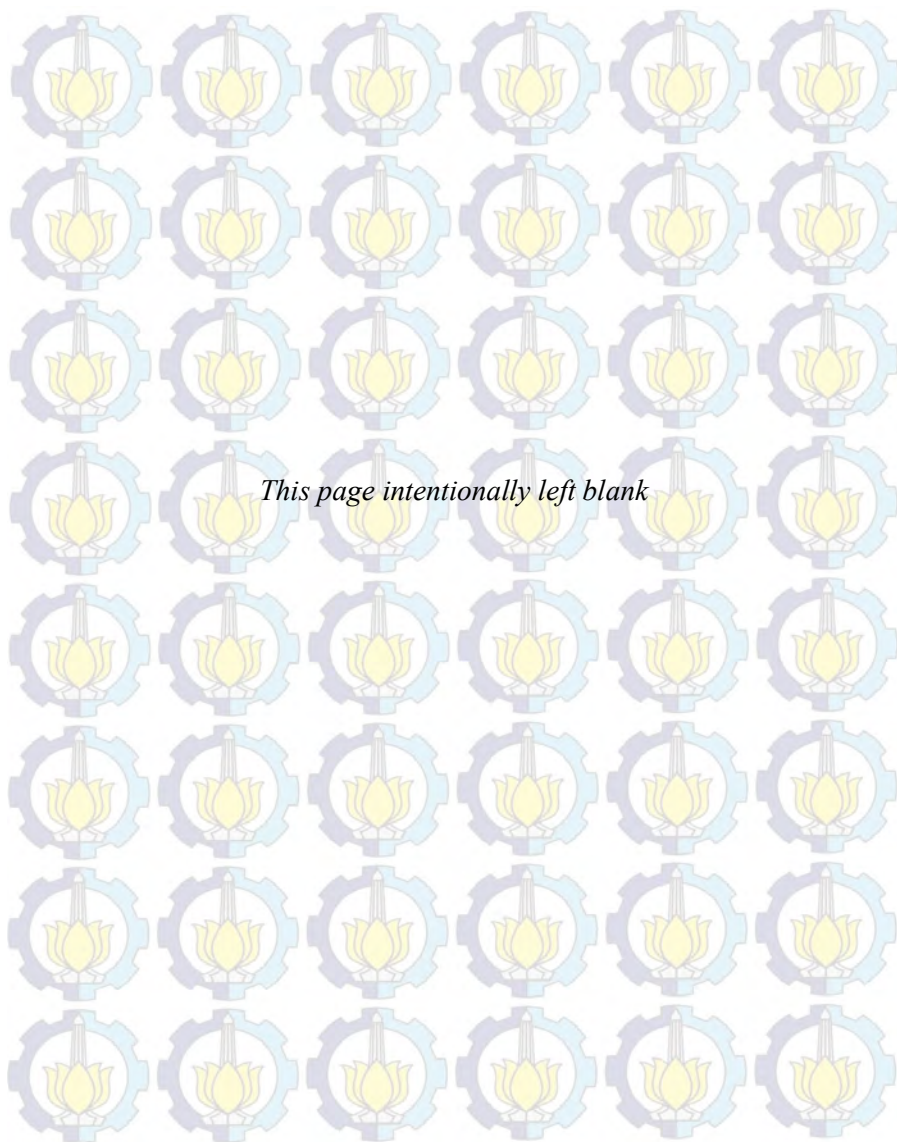


STUDY THE EFFECTS OF BENZOYL PEROXIDE CURING AGENT ON THE TENSILE STRENGTH AND THERMAL STABILITIES OF SILICON RUBBER

Name : Deni Budi Utomo
NRP : 2711 100 091
Supervisor : Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, ST.,M.Sc
Abstract

Preparation and characterization of silicon rubber – polydimethylsiloxane (PDMS) had been successfully made through curing or vulcanization process. Silicon rubber was prepared by adding curing catalyst. The curing (vulcanization/ maturation) process was conducted by adding *Bluesil 60R curing catalyst* (commercial), Benzoyl peroxide catalyst, Hydrogen peroxide, Tri-ethyl-amine and Methyl Ethyl Ketone, each varying at 2,4, 6, 8 and 10 wt%. The tests being conducted were including FTIR, tensile test, compression test, morphology testing and thermal stability testing. The results of this research indicated that the *curing agent* (catalyst) which could matured the PDMS were only *Bluesil Catalyst 60R Dioctyle tin Oxide* (commercial) and Benzoyl peroxide. FTIR showed that the forming of *crosslink* bonding on PDMS structure was composed by $\text{CH}_2\text{-CH}_2$ bond forming. Tensile tests results pointed that the increase in catalyst composition up to 6% would increase the tensile strength and decrease it when the composition was above 6%. Compression strength of the silicon rubber indicated that the increase in composition would also increase its compression. The morphology of silicon rubber obtained in this research, showed that the it was *polygonal pores shaped(not connected pores)*. The thermal stability of silicone rubber with the addition of catalysts and without addition of catalysts showed not significant differences in thermal stability of silicone rubber.

Keywords : silicone rubber, Tensile strength, thermal stability, catalysts, vulcanization



KATA PENGANTAR

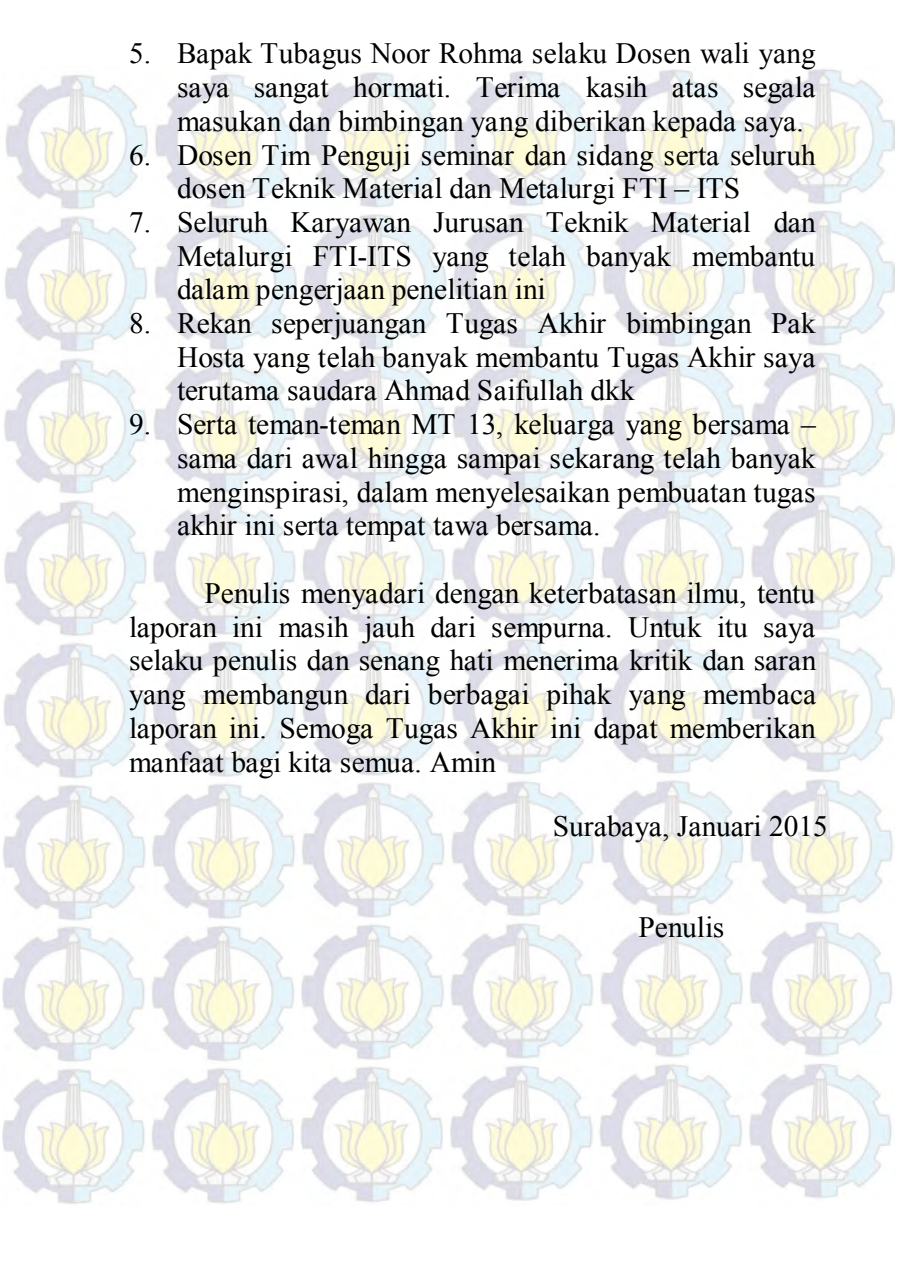


Dengan mengucapkan *alhamdulillah hirobbil 'alamin*, penulis menghaturkan segala puji dan syukur ke hadirat ALLAH SWT atas segala anugerah dan petunjuk-Nya, penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“PENGARUH KATALIS (*CURING CATALYST*) BENZOIL PEROKSIDA TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN STABILITAS TERMAL KARET SILIKON (*SILICONE RUBBER*)”**

Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi syarat dalam memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar – besarnya kepada :

1. Allah Subhanahu Wata'ala atas Agama Rahmat-Nya sehingga saya dapat mendapat hidayah untuk tetap tabah dalam mengerjakan Tugas Akhir ini serta dapat mengamalkannya
2. Kedua orang tua dan keluarga atas segala doa, dukungan moril dan materil, pengertian dan cinta yang telah diberikan selama ini
3. Bapak Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc selaku Dosen pembimbing Tugas Akhir yang saya hormati. Terima kasih atas segala bimbingannya, masukan, saran yang Bapak berikan dan waktu yang selama ini bapak sediakan untuk membimbing saya
4. Kepada Bapak Dr. Sungging Pintowantoro, ST., MT selaku Ketua Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS.

- 
5. Bapak Tubagus Noor Rohma selaku Dosen wali yang saya sangat hormati. Terima kasih atas segala masukan dan bimbingan yang diberikan kepada saya.
 6. Dosen Tim Penguji seminar dan sidang serta seluruh dosen Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS
 7. Seluruh Karyawan Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS yang telah banyak membantu dalam pengerjaan penelitian ini
 8. Rekan seperjuangan Tugas Akhir bimbingan Pak Hosta yang telah banyak membantu Tugas Akhir saya terutama saudara Ahmad Saifullah dkk
 9. Serta teman-teman MT 13, keluarga yang bersama – sama dari awal hingga sampai sekarang telah banyak menginspirasi, dalam menyelesaikan pembuatan tugas akhir ini serta tempat tawa bersama.

Penulis menyadari dengan keterbatasan ilmu, tentu laporan ini masih jauh dari sempurna. Untuk itu saya selaku penulis dan senang hati menerima kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak yang membaca laporan ini. Semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua. Amin

Surabaya, Januari 2015

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK IN	v
ABSTRAK ENG	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xv

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	5
1.5 Manfaat Penelitian	5

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Polisiiloksan	7
2.2 Polidimetilsiloksan (PDMS)	10
2.3 Silicone Rubber (Karet Silikon)	12
2.4 Room- temperature Vulcanisir (RTV).....	15
2.5 Peroksida.....	18
2.6 Foam Silicone Rubber	22
2.7 Foam Polyurethane	24
2.8 Kajian Penelitian Sebelumnya.....	25

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian	45
3.2 Material dan Metode penelitian.....	47
3.3 Rancangan Penelitian.....	47
3.4 Bahan Penelitian.....	48
3.5 Variabel Penelitian.....	51
3.6 Peralatan Penelitian	51

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Preparasi Pembuatan Karet Silikon	63
4.2 Studi FTIR	66
4.3 Studi Kekuatan Tarik Karet Silikon	73
4.4 Studi Kekuatan Tekan Karet Silikon	79
4.5 Studi Morfologi <i>Foam Silicone Rubber</i>	81
4.6 Studi Stabilitas Termal Karet Silikon	84

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	89
5.2 Saran	89

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BIOGRAFI PENULIS

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Struktur unit Poliorganosiloksan	9
Tabel 2.2 Temperature Transisi glass dan temperatur luluh ...	11
Tabel 2.3 Proses Sintesis PDMS	11
Tabel 2.4 Struktur Formula organic Peroksida	19
Tabel 2.5 Keunggulan dan Kelemahan Peroksida	21
Tabel 2.6 Sifat Mekanik uap silika-PDMS	30
Tabel 2.7 Hasil Pengujian TGA	33
Tabel 2.8 Kekuatan Tarik dan Elongation silicone	34
Tabel 2.9 Sifat Mekanik RTV silicone Rubber	37
Tabel 2.10 Hasil TGA komposit PDMS/Grafit	40
Tabel 2.11 Daerah Serapan PDMS 100%	41
Tabel 3.1 Rancangan Penelitian	48
Tabel 3.2 Dimensi spesimen	59
Tabel 4.1 Analisa Daerah serapan dan ikatan kimia karet	68
Tabel 4.2 Analisa daerah serapan dan ikatan kimia katalis	72
Tabel 4.3 Sifat mekanik karet silikon-Benzoil peroksida	78
Tabel 4.4 Sifat Mekanik karet silikon-Bluesil	78
Tabel 4.5 Stabilitas termal karet silikon	87

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur umum polimer silikon linear.....	7
Gambar 2.2 Struktur polimer PDMS	10
Gambar 2.3 Kemampuan elastomer secara umum	14
Gambar 2.4 Proses Curing PDMS Sn Catalyst.....	16
Gambar 2.5 Proses Curing PDMS Pt Catalyst	16
Gambar 2.6 Proses Hidrosilasi pematangan polisiloksan	16
Gambar 2.7 Reaksi crosslink peroksida dengan siloksan.....	20
Gambar 2.8 Mekanisme reaksi peroksida dengan siloksan.....	21
Gambar 2.9 Foam Silicone Rubber.....	22
Gambar 2.10 Grafik pengaruh jenis dan komposisi <i>curing</i>	26
Gambar 2.11 Kekuatan tarik karet silikon.....	27
Gambar 2.12 grafik hasil uji TGA	28
Gambar 2.13 FTIR spectrum PDMS	28
Gambar 2.14 Hasil Uji TGA-DSC PDMS	29
Gambar 2.15 Grafik PDMS modulus young dan tensile.....	31
Gambar 2.16 Grafik FTIR pure PDMS dan PDMS POSS	32
Gambar 2.17 Grafik hasil pengujian TGA	33
Gambar 2.18 Grafik Stress-strain sampel PDMS-5-10-15	35
Gambar 2.19 Grafik stress-strain PDMS/CNT.....	36
Gambar 2.20 Efek crosslinker terhadap modulus-elongation..	38
Gambar 2.21 Grafik TGA RTV silicone rubber (nitrogen).....	38
Gambar 2.22 Grafik uji Tarik PDMS/Grafit	39
Gambar 2.23 Grafik Stabilitas termal komposit PDMS/Grafit	40
Gambar 2.24 Hasil Analisa FTIR PDMS/grafit	41
Gambar 2.25 <i>pull test</i> , Grafik stress-strain.....	43
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	46
Gambar 3.2 Silicon rubber	49
Gambar 3.3 katalis benzoil Peroxide	49
Gambar 3.4 Hidrogen Peroxide	50
Gambar 3.5 Trietilamin.....	50
Gambar 3.6 Etilmetilketon	51
Gambar 3.7 Neraca digital	52
Gambar 3.8 pipet	52

Gambar 3.9 Masker.....	53
Gambar 3.10 gelas Beaker	53
Gambar 3.11 Spatula.....	53
Gambar 3.12 Cetakan uji tarik.....	54
Gambar 3.13 Aluminium Foil	54
Gambar 3.14 Alat uji Termal.....	56
Gambar 3.15 Skema Mesin FTIR.....	57
Gambar 3.16 Alat Uji FTIR	57
Gambar 3.17 Spesimen Uji tarik (ASTM D638M dan alat.....	58
Gambar 3.18 Alat Uji Tekan	60
Gambar 3.19 foto Makro pada alat mikroskop stemi DV 4 ...	61
Gambar 4.1 Reaksi pemotongan	64
Gambar 4.2 Reaksi Peroksida dengan gugus siloksan	64
Gambar 4.3 Reaksi katalis komersial dengan gugus siloksan	65
Gambar 4.4 Grafik Hasil pengujian FTIR pada karet silikon..	66
Gambar 4.5 Grafik Gabungan FTIR.....	67
Gambar 4.6 Struktur polimer PDMS.....	70
Gambar 4.7 Hasil uji FTIR katalis Bluesil/Benzoil peroksida	71
Gambar 4.8 Spesimen uji tarik	74
Gambar 4.9 Grafik uji tarik karet silikon	74
Gambar 4.10 Grafik Keuletan/regangan rata-rata.....	76
Gambar 4.11 Grafik Modulus young	77
Gambar 4.12 Spesimen uji Tekan.....	80
Gambar 4.13 Grafik Kekuatan tekan	80
Gambar 4.14 Foto Makro Foam Silicone Rubber.....	84
Gambar 4.15 Grafik Hasil uji TGA komposisi Katalis.....	85

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Struktur unit Poliorganosiloksan	9
Tabel 2.2 Temperature Transisi glass dan temperatur luluh ...	11
Tabel 2.3 Proses Sintesis PDMS	11
Tabel 2.4 Struktur Formula organic Peroksida	19
Tabel 2.5 Keunggulan dan Kelemahan Peroksida	21
Tabel 2.6 Sifat Mekanik uap silika-PDMS	30
Tabel 2.7 Hasil Pengujian TGA	33
Tabel 2.8 Kekuatan Tarik dan Elongation silicone	34
Tabel 2.9 Sifat Mekanik RTV silicone Rubber	37
Tabel 2.10 Hasil TGA komposit PDMS/Grafit	40
Tabel 2.11 Daerah Serapan PDMS 100%	41
Tabel 3.1 Rancangan Penelitian	48
Tabel 3.2 Dimensi spesimen	59
Tabel 4.1 Analisa Daerah serapan dan ikatan kimia karet	68
Tabel 4.2 Analisa daerah serapan dan ikatan kimia katalis	72
Tabel 4.3 Sifat mekanik karet silikon-Benzoil peroksida	78
Tabel 4.4 Sifat Mekanik karet silikon-Bluesil	78
Tabel 4.5 Stabilitas termal karet silikon	87



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Polimer dapat diklasifikasikan ke dalam tiga kategori, meliputi *plastik* yang berupa lapisan tipis untuk membungkus makanan, zat padat yang keras dan dapat dicetak seperti pipa. Selanjutnya *serat* polimer yang mirip benang seperti nilon, fiber dan yang terakhir *elastomer* yaitu polimer yang mempunyai sifat elastis seperti karet (Stevens dkk, 2001).

Perkembangan material polimer mengalami kemajuan yang pesat. Polidimetilsiloksan merupakan material elastomer yang banyak digunakan. Karet silikon (*silicone rubber*) adalah jenis Polidimetilsiloksan yang mempunyai karakteristik yang unik, yaitu elastisitas dan stabilitas termal yang tinggi. Tipe elastomer ini termasuk gugus paduan *semiorganic* dengan rantai utama silikon dan oksigen. Karet silikon banyak diaplikasikan sebagai lapisan pelindung (*coating*), sebagai bahan adhesive (perekat), keuletan yang tinggi, tidak beracun, tahan terhadap sinar UV, *biocompatible*, fleksibilitas tinggi, konduktivitas listrik tinggi, biaya rendah dan kemudahan fabrikasinya (Songmin Shang dkk, 2014).

Silicone Rubber termasuk dalam gugus polisiloksan (ikatan Si dan O). Silicone elastomer atau Silicone rubber adalah elastomer yang berbasis high-molecular-weight linear polymers, poli(dimetilsiloksan) (PDMS) dengan rantai utama Si-O dan dua gugus metil pada setiap silikon. Energi ikatan Si-O sebesar 106.0 kcal/mol, energi ini lebih besar daripada ikatan C-C sebesar 84,9 kcal/mol. Besarnya energi ikatan ini menyebabkan tingkat ketahanan yang tinggi terhadap panas (hingga 315 °C), kelembapan serta efek cuaca secara umum (ciullo, 1996). Menurut (seema dkk, 2010) lapisan pelindung *polysiloksan* berbasis siloksan murni mempunyai ketahanan temperature tinggi, dan asam. Akan tetapi, silicone rubber atau PDMS mempunyai kekuatan yang rendah.

Karet silikon mengalami proses *curing*/ pematangan. Proses *curing*/ pematangan terjadi melalui pembentukan polimerisasi network. Pembentukan network/crosslink (ikat silang) diperoleh melalui penambahan *curing catalyst*. Secara komersial, nama lain *curing catalyst* disebut juga sebagai katalis. Proses *curing*/pematangan dalam kelompok karet disebut vulkanisasi.

Curing catalyst (katalis) komersial memiliki kelemahan antara lain jumlahnya yang terbatas, sulit diperoleh, harganya yang mahal dan umur pakainya yang singkat. Sehingga, penggunaan material lain yang dapat berfungsi sebagai *curing catalyst* (katalis) untuk proses vulkanisasi (*curing*) karet silikon sangat diperlukan untuk mengurangi ketergantungan dari *curing catalyst* (katalis) komersial.

Diantara berbagai tipe inisiator/*curing catalyst*, peroksida (ROOR) merupakan jenis yang paling banyak dipakai. Peroksida tidak stabil terhadap panas dan terurai menjadi radikal – radikal bebas pada suatu temperatur dan laju yang bergantung pada strukturnya. Berbagai macam dapat digunakan untuk agen ikat silang sebagian besar elastomer. Keunggulan Peroksida mampu untuk ikat silang (*crosslink*) dengan elastomer (karet) jenuh seperti low-density polyethylene (LDPE), ethylene-propylene rubber (EPR) dan silikon yang tidak dapat ikat silang (*crosslink*) dengan tipe lain dari agen vulkanisasi.

Peroksida banyak jenisnya, diantaranya adalah Benzoin Peroksida. Katalis benzoin peroksida telah menjadi standar *curing* (vulkanisasi) agen untuk karet silikon. Bagaimanapun juga benzoin peroksida menjadi standar untuk silikon, seperti halnya sulfur yang menjadi standar *curing catalyst* dari natural rubber.

Akan tetapi, dari sekian jurnal dan artikel penelitian terhadap sifat polisiloksan khususnya Polidimetilsiloksan (PDMS) hanya sedikit yang membahas tentang pengaruh jenis katalis terhadap sifat Polidimetilsiloksan dalam bentuk karet.

(Tomer dkk,2012) menyatakan dalam jurnalnya bahwa, hanya ada sedikit artikel dalam literature yang menjelaskan sifat dari polisiloksan kasar (tanpa silika dan aditif apapun/ pengotor, tidak tersambung – silang).

Penelitian sebelumnya tentang pengaruh jenis curing catalyst katalis terhadap kekuatan Tarik (tensile strength) dan stabilitas termal Polidimetilsiloksan dilakukan oleh (Atha. 2013). *Curing catalyst* (katalis) yang berhasil digunakan adalah katalis komersial yang dapat mempengaruhi kekuatan Tarik dan stabilitas termal karet silikon. Kekuatan Tarik meningkat seiring dengan penambahan katalis 2-6 wt%, namun terus menurun jika penambahan diteruskan hingga 10%.

Salah satu keunggulan Polidimetilsiloksan (PDMS) yaitu elastisitas yang tinggi. Aplikasi yang tepat dengan sifat tersebut adalah sebagai foam maupun gasket/sealant. Foam karet silikon adalah material/bahan polimer yang berpori yang mengkombinasikan karakteristik sifat dari karet silikon dan material foam. Foam *silicone rubber* dapat diklasifikasikan berdasarkan kimianya ke dalam dua kategori, yaitu *heat-activated foams* dan *room temperature vulcanization* (RTV). *heat-activated foams vulcanization* yang terdiri dari gugus vinyil ataupun metil yang mengalami proses (pematangan) menggunakan peroksida agen vulkanisasi (curing catalyst). Sifat mekanik dari foam karet silikon tergantung pada kerapatan pori dan morfologi pori tersebut (Lixian song dkk, 2014).

Foam yang berasal dari karet silikon menunjukkan sifat yang unggul ketika dibandingkan dengan polimer yang lain. Karet silikon lebih tahan terhadap temperature tinggi dibandingkan dengan polimer lainnya. Aplikasinya mulai dari gasket/sealant pada sambungan konstruksi, insulator, peredam *mechanical shock* di pesawat ruang angkasa, pesawat, alat di industry dan biomaterial untuk penutup luka (John B.Grade dkk, 2012).

Foam polimer adalah bahan (material) penting dan serbaguna karena ketahanannya terhadap listrik, termal, dan insulasi akustik. Pemilihan reaktan dan teknologi pembuatan memungkinkan produksi dari foam untuk berbagai aplikasi (Raquel Verdejo, dkk 2008).

Oleh karena itu, penulis bermaksud untuk melakukan fokus penelitian tentang pengaruh *curing catalyst* (katalis) benzoil peroksida terhadap kekuatan Tarik dan stabilitas termal pada karet silikon (*silicone rubber*).

1.2 Perumusan Masalah

Penelitian ini memiliki beberapa perumusan masalah, yaitu :

1. Bagaimana pengaruh *curing catalyst* (katalis) *Bluesil Catalyst 60R/ Dioctyle tin Oxide* (komersial), Benzoil peroksida, Hidrogen peroksida, Trietilamin dan Etilmetilketon terhadap kekuatan Tarik (*tensile strength*) pada karet silikon ?
2. Bagaimana pengaruh *curing catalyst* (katalis) *Bluesil Catalyst 60R/ Dioctyle tin Oxide* (komersial), Benzoil peroksida, Hidrogen peroksida, Trietilamin dan Etilmetilketon terhadap stabilitas termal (*thermal stability*) pada karet silikon ?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan pada penelitian ini agar diperoleh hasil yang sesuai dan tidak menyimpang adalah sebagai berikut :

1. Material pengotor yang terdapat pada polimer dan katalis diabaikan.
2. Proses pencampuran dianggap homogen.
3. Reaksi kimia yang terjadi dianggap homogen.
4. Spesimen yang dihasilkan dianggap homogen

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa tujuan, yaitu :

1. Menganalisis pengaruh *curing catalyst curing catalyst* (katalis) *Bluesil Catalyst 60R/ Dioctyle tin Oxide* (komersial), Benzoil peroksida, Hidrogen peroksida, Trietilamin dan Etilmetilketon terhadap kekuatan Tarik pada karet silikon Polidimetilsiloksan.
2. Menganalisis pengaruh *curing catalyst curing catalyst* (katalis) *Bluesil Catalyst 60R/ Dioctyle tin Oxide* (komersial), Benzoil peroksida, Hidrogen peroksida, Trietilamin dan Etilmetilketon terhadap stabilitas termal pada karet silikon Polidimetilsiloksan.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa tujuan, yaitu :

1. Memberikan pengetahuan tentang pengaruh jenis katalis terhadap kekuatan Tarik dan stabilitas termal karet silikon Polidimetilsiloksan
2. Menghasilkan komposisi katalis polidimetilsiloksan yang optimal untuk mendapatkan kekuatan tarik dan stabilitas termal yang maksimal
3. Menghasilkan bahan kimia yang mampu menjadi *curing catalyst* atau (katalis) vulkanisasi *silicone rubber* (karet silikon).



(Halaman ini Sengaja Dikosongkan)



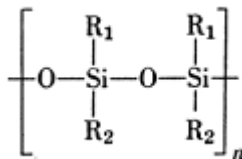
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Polisiloksan

Silikon adalah unsur yang terletak pada golongan IVA pada tabel periodik unsur. Seperti halnya karbon, silikon mempunyai kemampuan membentuk senyawa kovalen. Jaringan kovalen lebih stabil daripada silane atau silikon hidrida dan merupakan polimer silikon komersial. Tidak seperti karbon, silikon tidak dapat membentuk dua atau tiga ikatan, biasanya silikon hanya dibentuk dengan reaksi kondensasi (Billmeyer, 1994).

Steven (2001) menyatakan bahwa ikatan Si-Si (silane) jauh lebih lemah daripada ikatan C-C. Sedangkan ikatan Si-O lebih stabil daripada ikatan silikon (C-C). Energi ikatan Si-O sebesar 106,0 kcal/mol, energi ini lebih besar daripada ikatan C-C sebesar 84,9 kcal/mol. Besarnya energi ikatan ini menyebabkan tingkat ketahanan yang tinggi terhadap panas (hingga 315°C), kelembapan serta efek cuaca secara umum (ciullo, 1996). Gambar 2.1 struktur umum untuk polimer silikon linear.



Gambar 2.1 Struktur umum polimer silikon linear
(Licari, 2003)

Pada struktur tersebut, gugus R1 mungkin merupakan gugus yang sama atau berbeda dengan R2. Gugus tersebut dapat diganti oleh salah satu atau kombinasi gugus organik seperti :

- Metil (CH₃)
- Fenil (C₆H₅)

- Alil ($-\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH}_2$)
- Vinil ($-\text{CH}=\text{CH}_2$) (Licari, 2003)

Pernyataan Licari diperkuat oleh Rahimi,dkk (1998) bahwa, gugus-gugus organik pada polimer silikon dapat berupa gugus kecil seperti metil, alkil, struktur siklik seperti fenil atau gugus tidak jenuh vinil yang terikat dengan silikon.

Polisiloksan merupakan polimer hibrida karena memiliki kombinasi sifat organik dan anorganik. Senyawa ini memiliki stabilitas thermal seperti ditunjukkan oleh senyawa silika dan silikat, serta stabilitas dan plastisitas oleh polimer organik (Rahimi, dkk 1998).

Polimer silikon diklasifikasikan menurut gugus sisinya sesuai dengan ASTM D1418 (*Standard Practice for Rubber Lattice-Nomenclature*) sebagai berikut :

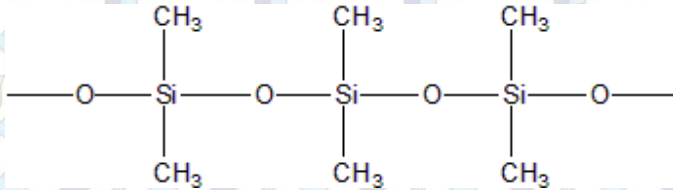
- Q (Siloksan)
- MQ (Dimetil Siloksan)
- PMQ (Metil Fenil Siloksan)
- VMQ (Metil Venil Siloksan)
- PVMQ (Metil fenilvinil Siloksan)
- FVMQ (Fluorometilvinil Siloksan) (Licari, 2003)

Tabel 2.1berbagai struktur unit poliorganosiloksan
(pachaly, 2005)

Structural Unit	Symbol	Function
$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ | \\ \text{CH}_3-\text{Si}-\text{O}- \\ | \\ \text{CH}_3 \end{array}$	M	Monofunctional unit at chain ends
$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ | \\ -\text{O}-\text{Si}-\text{O}- \\ | \\ \text{CH}_3 \end{array}$	D	Difunctional unit in linear siloxane polymers, silicone fluids, and greases
$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ | \\ -\text{O}-\text{Si}-\text{O}- \\ | \\ | \end{array}$	T	Trifunctional unit in cross-linked polymers like resins; soft and rigid systems
$\begin{array}{c} | \\ | \\ -\text{O}-\text{Si}-\text{O}- \\ | \\ | \end{array}$	Q	Tetrafunctional unit in cross-linked polymers like resins; rather rigid
$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ | \\ \text{HO}-\text{Si}-\text{O}- \\ | \\ \text{CH}_3 \end{array}$	M ^{OH}	Silanol unit for condensation reactions
$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ | \\ \text{H}_2\text{C}=\text{CH}-\text{Si}-\text{O}- \\ | \\ \text{CH}_3 \end{array}$	M ^{Vi}	Vinyl-terminated unit for radical reactions and hydro-silylation reactions
$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ | \\ \text{H}-\text{Si}-\text{O}- \\ | \\ \text{CH}_3 \end{array}$	M ^H	Silane-terminated unit for hydro-silylation reactions
$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ | \\ -\text{O}-\text{Si}-\text{O}- \\ | \\ \text{CH} \\ || \\ \text{CH}_2 \end{array}$	D ^{Vi}	Difunctional unit with vinyl curing site for grafting and cross-linking
$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ | \\ -\text{O}-\text{Si}-\text{O}- \\ | \\ \text{H} \end{array}$	D ^H	Difunctional unit with silane curing site for grafting and cross-linking
$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ | \\ -\text{O}-\text{Si}-\text{O}- \\ | \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$	D ^{Ph}	Difunctional unit with phenyl ring used, for example, in thermal silicone fluids
$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ | \\ -\text{O}-\text{Si}-\text{O}- \\ | \\ (\text{CH}_2)_2\text{CF}_3 \end{array}$	D ^{TFP}	Difunctional unit with trifluoropropyl group used, for example, in lubricants or in Aggressive environments

2.2 Poli (dimetilsiloksan) (PDMS)

Polidimetilsiloksan (PDMS) adalah polimer dengan ikatan silikon oksigen (siloksan) yang memiliki dua gugus metil (CH_3). Struktur dari PDMS pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 struktur polimer PDMS
(Gordin, 2009)

Polidimetilsiloksan (PDMS) adalah material yang sangat menarik sejak diketahui bahwa PDMS memiliki kombinasi unik yang tidak ditemukan pada material lain. Sifat tersebut seperti temperatur glass yang rendah (-120°C), fleksibilitas rantai yang sangat tinggi, oksidatif yang baik, stabilitas termal, sinar UV, hidropobisitas, biokompabilitas, permeabilitas gas yang tinggi, energi permukaan yang rendah, lubrikasi yang tinggi, dan ketahanan plasma atom oksigen yang sangat baik. Walaupun PDMS memiliki banyak sekali sifat yang unik, PDMS murni secara mekanik terlalu lemah untuk bisa digunakan sebagai polimer. PDMS murni juga menunjukkan aliran dingin pada berat molekul yang besar ($M_n = 500.000$). Karena volume PDMS yang sangat besar, kerapatan energi kohesi menjadi rendah sehingga fleksibilitas rantai menjadi tinggi. PDMS mempunyai tegangan permukaan yang rendah, energi permukaan dan parameter daya larut yang rendah serta tak dapat dicampur dengan kebanyakan polimer organik lain (Gordin, 2009).

Sifat PDMS yang memiliki temperatur transisi glass yang rendah juga diteliti oleh Deshpande dan Rezac. Pada tabel bisa dilihat bahwa PDMS memiliki temperatur transisi

glass dan temperatur pelelehan kristal yang sangat rendah, hal ini menyebabkan wujud PDMS di temperatur kamar berupa larutan.

Tabel 2.2. Temperatur Transisi Glass dan Temperatur Luluh Kristal (Eshpande dan Rezac 2002)

Jenis polimer	Temperatur transisi glass (°C)	Temperatur luluh kristal (°C)
PDMS	-118	-48
PDPDMS(3.5%)	-116	nda
PDPDMS(25%)	-75	nd

Banyak cara untuk memperoleh polidimetilsiloksan, beberapa proses sintesis polidimetilsiloksan dapat dilihat pada Tabel 2.3

Tabel 2.3 Proses Sintesis PDMS (kuo, 1999)

Proses Polimerisasi	Monomer	Katalis utama
Hidrolisis	Diklorodimetilsilane dan dialkoksidimetilsilane	Asam, alkali, dan poliklorofosfazen
Kondensasi	Dimetilsiloksan-dioli oligomer	H ₂ SO ₄ , HCl, tin dikarboksilat, hidroksida logam alkali atau zeolit
Anionik	Dimetilsiloksan siklik	Hidroksida, Silanol, dan alkohol logam alkali, ammonium quartener, atau basa fosfonium
Kationik	Dimetilsiloksan siklik	Asam kuat protik

		(H ₂ SO ₄ dan CF ₃ SO ₃ H)
Emulsi	Oligomer dengan akhir silanol atau Dimetilsiloksan siklik	Sodium silikat, tin dikarboksilat, asam, garam, hidroksida logam alkali
Radiasi	Dimetilsiloksan siklik	γ (⁶⁰ Co)

Aplikasi PDMS murni sangatlah sedikit, hal ini karena PDMS murni terlalu lemah secara mekanik jika digunakan sebagai polimer. Modifikasipun banyak dilakukan untuk bisa mengeksploitasi keunggulan sifat PDMS yang lain. Menurut (Bejenariu, dkk 2009), Polidimetilsiloksan (PDMS) adalah polimer silikon yang sangat berguna baik pada aplikasi medis maupun nonmedis. PDMS sangat dibutuhkan sebagai bagian dari banyak alat penyaluran obat seperti Norplant.

Beberapa aplikasi yang lain dari PDMS menurut J.J Licari (2003) antara lain :

1. Insulasi kabel listrik.
2. Coating papan sirkuit.
3. Pelapisan sambungan semikonduktor.
4. Pelapisan pada pelindung komponen listrik
5. Penghalang air
6. Gasket pada kendaraan
7. Lapisan pelindung korosi
8. Pelapisan insulasi untuk power supply, relay dan *magnetic amplifiers*.

2.3 Silicone Rubber (Karet Silikon)

Karakteristik unik dan harga jual yang lebih tinggi dibandingkan elastomer lain pada umumnya membuat karet silikon biasanya dibedakan sebagai elastomer spesial, meskipun karet ini meningkatkan biaya alternatif dalam berbagai aplikasinya. Dua jenis silikon elastomer memiliki

sifat tersebut, yaitu karet termoset yang divulkanisir dengan panas dan karet *room-temperature vulcanizing* (RTV) (Ciullo, 1996).

polimer silikon utama adalah polidimetilsiloksan dengan rantai utama Si-O dan dua gugus metil pada setiap silikon. Rantai utama Si-O memberikan tingkat ketahanan yang tinggi terhadap ozon, oksigen, panas (hingga 315 °C), sinar UV, kelembaban, dan efek cuaca secara umum. Sedangkan pengganti gugus metil memberikan tingkat fleksibilitas yang tinggi. (Ciullo, 1996)

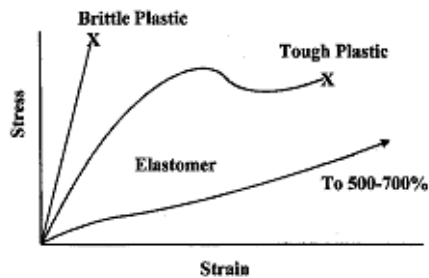
Semenjak karet silikon diproduksi dengan proses kondensasi dari oligomer PDMS siklik utama, sebagian besar produksi PDMS menjadi karet. Konsentrasi yang paling sering digunakan untuk bisa ekstraksi oligomer adalah antara 1 hingga 5 wt%. Setelah penghilangan bagian yang bisa diekstraksi, masih memungkinkan untuk adanya oligomer ini sejak reaksi kondensasi yang berjalan terbalik hanya sedikit. Sehingga itulah kenapa sangat sulit untuk memproduksi karet silikon tanpa mengandung oligomer (Owens, 2012).

Sifat – sifat dari silikon elastomer sebagai berikut :

- Temperature temperatur penggunaan yang relatif tinggi
- Stabilitas terhadap oksidasi/degradasi
- Sifat Stabil mekanik dan dinamik dalam berbagai tingkat temperatur
- Stabil terhadap degradasi sinar UV
- Lambat terbakar dengan kepadatan asap rendah dan rendah kandungan racunnya
- Tidak membutuhkan tambahan teknologi untuk memberikan panas / stabilitas sinar UV
- Material murni dan sangat cocok untuk aplikasi yang berhubungan dengan makanan dan medis
- Mudah untuk diproses

Sedangkan kelemahan utama yang dimiliki oleh silikon elastomer adalah :

- Relatif rendah modulus elastisitasnya, kekuatan tarik, dan kekuatan tear pada temperatur 15 – 25 °C
- Mampu dilalui gas dan fluida
- Relatif tinggi biaya bahan dasarnya,



Gambar 2.3 menunjukkan kemampuan elastomer secara umum (sperling, 2006)

Pada umumnya, karet silikon merupakan campuran berkekuatan rendah yang berguna pada tingkat temperatur -80 hingga 450 °F (-62.2 hingga 232.2 °C). Karet silikon juga mempunyai ketahanan terhadap api, cahaya, dan ozon yang sangat baik. Karet silikon biasanya kurang tahan terhadap fluida. Karet silikon sangat cocok untuk aplikasi yang membutuhkan ketahanan terhadap panas karena mempunyai temperatur transisi glass yang rendah yaitu -197 °F (-127.2 °C) sehingga membuatnya memiliki fleksibilitas pada temperatur rendah yang cukup baik. Campuran yang berbasis karet silikon mempunyai kekuatan tear yang sangat rendah dan pada biasanya tidak cocok untuk aplikasi dinamik. (Dick, 2001).

Menurut Owens (2012) Sifat permukaan karet silikon dipengaruhi oleh empat karakteristik struktural, yaitu :

1. Gaya intermolekul yang rendah antara gugus metil

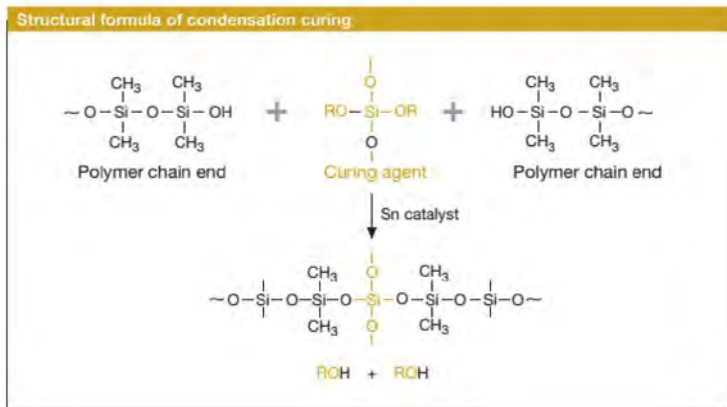
2. Fleksibilitas yang tinggi dari rantai utama siloksan
3. Kekuatan yang tinggi dari ikatan siloksan
4. Ionik parsial alami yang dimiliki oleh ikatan siloksan

Sifat utama dari silikon elastomer dapat dimodifikasi dengan mengganti sebagian besar gugus metil dengan phenyls dan/atau vinil. Gugus fenil meningkatkan fleksibilitas pada temperatur rendah (hingga $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$) tanpa menurunkan sifat tahan temperatur tingginya. Gugus vinil meningkatkan ketahanan kompresi dan kemudahan dalam vulkanisasi (Ciullo, 1996). Modifikasi sifat utama silikon elastomer juga dijelaskan oleh Nagdi (1993) bahwa Penambahan gugus trifluoropropil pada rantai polimer menghasilkan jenis karet silikon khusus yang umumnya dikenal sebagai karet fluorsilikon (FMQ dan FVMQ). Vulkanisasi karet ini menghasilkan sifat ketahanan terhadap minyak, bahan bakar, dan macam-macam pelarut yang sangat baik dengan tetap memiliki sifat memiliki sifat dasar dari silikon elastomer.

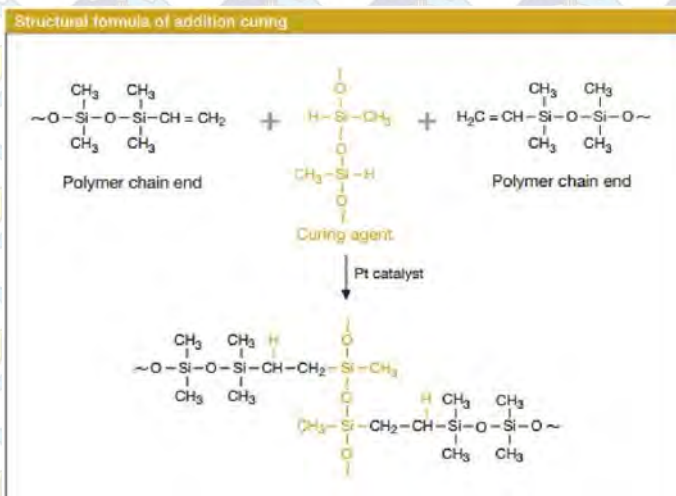
2.4 Room - Temperature vulkanisir (RTV) Silikon Rubber

Vulkanisasi mempunyai arti yang sama dengan sambung-silang, pematangan secara khusus sama artinya dengan sambung-silang (*crosslink*) namun seringkali lebih kepada kombinasi dari polimerisasi adisi dengan sambung-silang (O dian, 2004).

Campuran silikon cair RTV disuplai dengan sistem satu dan dua komponen. Dalam sistem satu komponen, agen sambung-silang terbentuk dalam campuran utama pada waktu proses manufaktur. Proses Vulkanisir terjadi setelah ada kontak langsung antara silikon dengan kelembaban atmosfir. Proses ini akan dimulai pertama kali pada permukaan silikon dan kemudian masuk ke dalam sejalan dengan difusi kelembaban atmosfir ke dalam campuran silikon. Sedangkan dalam sistem dua komponen, agen penyambung-silangnya ditambahkan pada silikon sebelum digunakan (Nagdi, 1993)



Gambar 2.4 proses curing/vulcanisir PDMS dengan Curing Catalyst (Wacker, 2006)

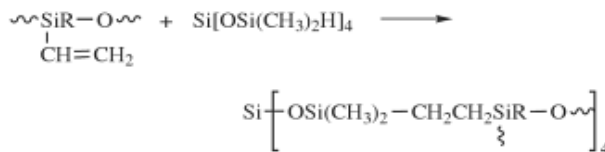


Gambar 2.5 proses curing/vulcanisir PDMS dengan Pt catalyst (Wacker, 2006)

Gambar 2.4 menunjukkan proses *curing/vulcanisir* atau pematangan PDMS dengan Sn catalyst sebagai katalis utamanya. Sedangkan untuk Gambar 2.5 menunjukkan proses

curing/vulcanizir PDMS dengan Pt catalyst sebagai katalis utamanya. Perbedaan keduanya terletak pada hasil akhir proses *vulcanizir*. Pada Sn katalis terdapat hasil sisa, sedangkan pada Pt katalis tidak ada hasil sisa. Ikatannya pun membentuk *crosslink*.

Penjelasan tentang RTV yang lebih lengkap dipaparkan oleh Odian (2004) bahwa RTV dan dimatangkan dengan panas adalah karet silikon yang melibatkan polisiloksan dengan derajat polimerisasi 200-1500 dan 2500-11000. Polisiloksan yang memiliki berat molekul lebih tinggi tidak bisa disintesis dengan langkah hidrolitik polimerisasi namun dengan polimerisasi pembukaan cincin menggunakan inisiator ionik.



Gambar 2.6 Proses Hidrosilasi pematangan polisiloksan (Odian, 2004)

Ada banyak senyawa kimia yang digunakan sebagai agen pematang pada karet. Agen-agen pematang yang paling penting adalah :

- a. Sulfur
- b. Pendoron sulfur
- c. Vulkanisasi yang dipercepat dengan sulfur
 - Akselerator thiazole
 - Akselerator sulfenamid
 - Ditiokarbonat, *xanthates*, *thiurams*
 - amino
- d. Macam-macam peroksida

- e. Oksida logam
- f. *phenolic curatives*
- g. *benzoquinonederivates*
- h. *bismaleimides*
- i. akselerator triazin
- j. penyambung-silang urethan
- k. pematangan dengan kelembaban

Garam atau senyawa kompleks dari platinum, paladium, rhodium bisa digunakan sebagai katalis, jika senyawa kompleks platinum-olefin digunakan, proses pematangan bisa terjadi pada temperatur kamar. Senyawa kompleks platinum yang berisi nitrogen digunakan untuk mengefektifkan proses pematangan adisi pada temperatur tinggi (seperti senyawa kompleks Pt dengan piridin, benzonitril, atau benzotriazole).

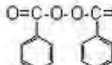
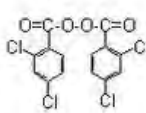
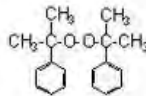
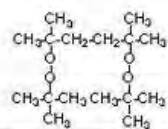
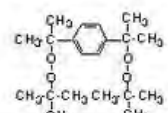
Silikon RTV digunakan dalam industri otomotif, peralatan rumah tangga, dan pesawat luar angkasa untuk campuran electronic potting dan gasket dibentuk-di-tempat, untuk membuat cetakan dalam proses manufaktur bagian plastik dan secara luas dalam perekat konstruksi, penutup, lapisan pelindung atap, dan pemasangan kaca (Ciullo, 1996).

2.5 Peroksida

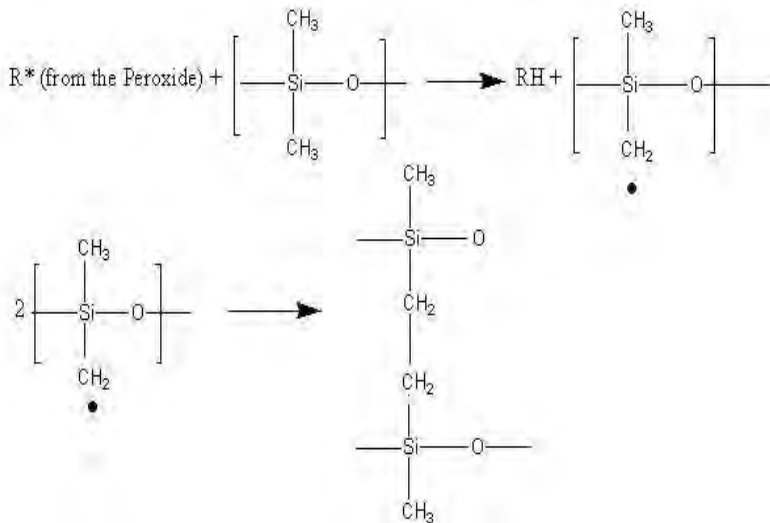
Diantara berbagai tipe inisiator, peroksida (ROOR) merupakan jenis yang paling banyak dipakai. Peroksida tidak stabil terhadap panas dan terurai menjadi radikal – radikal bebas pada suatu temperatur dan laju yang bergantung pada strukturnya. Berbagai macam dapat digunakan untuk agen ikat silang sebagian besar elastomer. Keunggulan Peroksida mampu untuk ikat silang (crosslink) dengan elastomer (karet) jenuh seperti low-density polyethylene (LDPE), ethylene-propylene rubber (EPR) dan silikon yang tidak dapat ikat silang (crosslink) dengan tipe lain dari agen vulkanisasi Tabel 2.4 menunjukkan macam-macam peroksida yang digunakan curing (vulkanisasi) untuk elastomer.

Tabel 2.4. Struktur formula organik peroksida
Agent vulkanisasi.

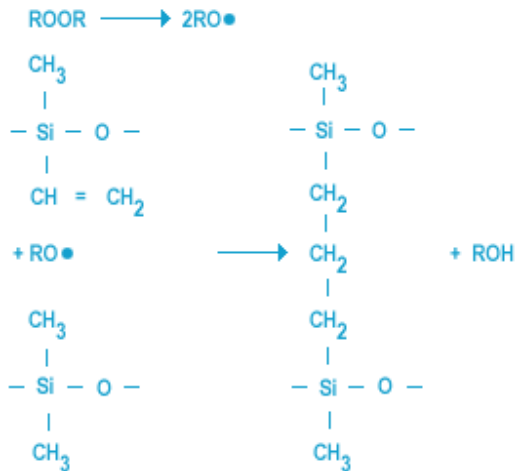
(https://www.tut.fi/ms/muo/tyreschool/moduulit/moduuli_4/hypertext_2/2/2_8.html, Diakses tanggal 21-09-2014 23.00)

Chemical name and formula	Form	Comments
<p>Benzoyl peroxide</p> $\text{O}=\text{C}-\text{O}-\text{O}-\text{C}=\text{O}$ 	<ul style="list-style-type: none"> • Dam powder, 80% active • Paste in phthalate plasticiser, 70% active • Paste in silicone oil, 50% active 	Used for silicone rubbers; not suitable for olefin rubbers; dry powder explosive
<p>2,4 - Dichlorobenzoyl - peroxide</p> $\text{O}=\text{C}-\text{O}-\text{O}-\text{C}=\text{O}$ 	<ul style="list-style-type: none"> • Damp powder, 50% active • Paste in phthalate plasticiser, 50% active • Paste in silicone oil, 50% active 	Used for silicone rubbers; not suitable for olefin rubbers; dry powder explosive
<p>Dicumyl peroxide</p> $\text{CH}_3-\text{C}(\text{CH}_3)_2-\text{O}-\text{O}-\text{C}(\text{CH}_3)_2-\text{CH}_3$ 	<ul style="list-style-type: none"> • Powder, 95% active • Powder, 40% active • Solution in phthalate plasticiser, 50% active • Powder, 96% active 	Used for natural and synthetic olefin rubber, and silicone rubbers
<p>2,5 - Di - (t - butylperoxy) - 2,5 - dimethylhexane</p> $\text{CH}_3-\text{C}(\text{CH}_3)_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{C}(\text{CH}_3)_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{C}(\text{CH}_3)_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{C}(\text{CH}_3)_2-\text{CH}_3$ 	<ul style="list-style-type: none"> • Powder, 50% active • Powder, 45% active 	Used for natural and synthetic olefin rubber, and silicone rubbers
<p>Di - (t - butyl peroxy) - diisopropylbenzene</p> $\text{CH}_3-\text{C}(\text{CH}_3)_2-\text{O}-\text{O}-\text{C}(\text{CH}_3)_2-\text{CH}_3$ 	<ul style="list-style-type: none"> • Powder, 85% active 	Used for natural and synthetic olefin rubber, and silicone rubbers

Peroksida banyak jenisnya, diantaranya adalah Benzoil Peroksida. Katalis benzoil peroksida telah menjadi standar curing (vulkanisasi) agen untuk karet silikon. Bagaimanapun juga benzoil peroksida menjadi standar untuk silikon, seperti halnya sulfur yang menjadi standar *Curing Catalyst* dari natural rubber. Benzoil peroksida ketika mencapai temperatur diatas 158°F akan terdegradasi, sehingga akan menghasilkan radikal bebas. Radikal bebas ini akan bereaksi dengan metil dari silikon, kemudian bereaksi dengan hydrogen dan lepas dari CH₃ yang reaktif. Kemudian radikal bebas ini akan selalu berikatan dengan cabang -CH₂ hingga membentuk ikat silang (crosslink). Gambar 2.7 dan Gambar 2.8 menunjukkan reaksi umum peroksida yang bereaksi dengan siloksan (Morton, 1963).



Gambar 2.7 reaksi crosslink peroksida dengan siloksan
(M Morton, 1963)



Gambar 2.8 mekanisme reaksi peroksida dengan siloksan (M. Morton, 1963)

Curing Catalyst (katalis curing) peroksida memiliki keunggulan dan kelemahan. Hal ini ditunjukkan pada Tabel 2.5

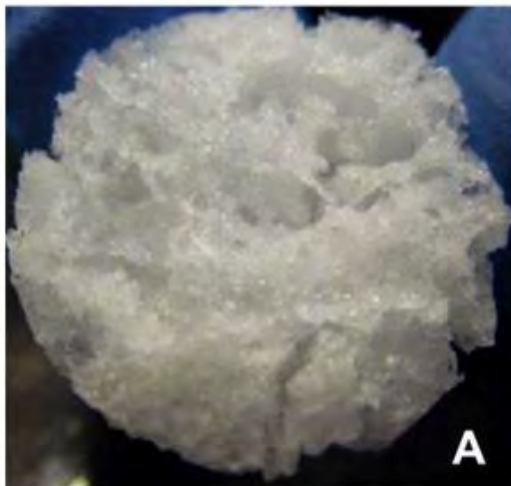
Tabel 2.5 Keunggulan dan kelemahan peroksida (M.Akiba, 1997)

Keunggulan	Kelemahan
Waktu ikat silang yang singkat	Harga crosslink agen yang mahal
Paduan/penggabungan yang sederhana	Kekuatan mekanik yang rendah
Tahan terhadap pemanasan	Ikat silang yang terhambat untuk beberapa jenis yang mengandung paduan.
Tidak terkontaminasi cetakan	Sulit curing (vulkanisasi diudara panas)
Kemungkinan karet yang transparan	Membutuhkan waktu untuk curing di temperature tinggi

2.6 Foam Silicone Rubber

Salah satu sifat Polidimetilsiloksan adalah kekuatan tariknya yang rendah. Aplikasi yang cocok dengan sifat tersebut adalah sebagai foam maupun gasket/sealant. Foam karet silicon adalah material/bahan polimer yang berpori yang mengkombinasikan karakteristik sifat dari karet silicon dan material foam. Sifat mekanik dari foam karet silicon tergantung pada kerapatan pori dan morfologi pori tersebut. (Lixian song dkk. 2014)

Foam yang berasal dari karet silicon menunjukkan sifat yang unggul ketika dibandingkan dengan polimer yang lain. Pada penelitian (Ramesh B. Malla dkk 2011) silicone foam digunakan untuk sambungan pada sendi jembatan. Karet silicon lebih tahan terhadap temperature tinggi dibandingkan dengan polimer lainnya. Aplikasinya mulai dari gasket/sealant pada sambungan konstruksi, insulator, peredam *mechanical shock* di pesawat ruang angkasa, pesawat, alat di industry dan biomaterial untuk penutup luka (John B.Grade dkk. 2012). Gambar 2.9 menunjukkan penampang foam.



Gambar 2.9 Foam silicone rubber (John B.Grade, dkk 2012)

Silicone foam dapat diklasifikasikan berdasarkan kimianya ke dalam dua kategori, yaitu *heat-activated foams* dan *room temperature vulcanization* (RTV). *heat-activated foams vulcanization* yang terdiri dari gugus vinyil ataupun metil mengalami proses curing (pematangan) menggunakan peroksida agen vulkanisasi (Curing Catalyst). Sedangkan RTV dengan reaksi polikondensasi atau addition antara curing agen atau agen crosslink yang mengandung grup fungsional silikon dan polimer silikon hidroksilane dengan metal katalis, seperti platinum atau timah. Sistem RTV foam secara umum dua komponen setelah mixing, elastomer yang akan terbentuk gas yang terperangkap.

Penelitian yang telah banyak dilakukan tentang Foam silicone rubber dibuat dengan menambahkan material tertentu atau sebagai komposit, sehingga menyebabkan sifat dari foam silicone rubber berbeda setiap karakteristiknya. (Jie Gao, dkk 2012) meneliti tentang preparasi dan properties *hollow glass bead (HGB) filled silicone rubber foams* dengan konduktivitas termal yang rendah. HGB adalah porous rigid yang mengandung gas inert. Komposisi utama HGB adanya kandungan kimia silikat seperti silica. HGB secara luas digunakan foam sintetis. Tujuan penelitian ini untuk membuat foam silicone rubber dengan densitas yang rendah, thermal konduktivitas yang rendah dan kekerasannya yang rendah akibat dari penambahan HGB. (Helen so, dkk 2013) melakukan penelitian dengan *blend polymer*/pencampuran polimer *poly(ethylene glycol)* (PEG)/*poly(dimethylsiloxane)* (PDMS) untuk aplikasi biomaterial. Tujuan dari penambahan PEG adalah untuk meningkatkan viskositas dari foam.

Foam polimer adalah bahan (material) penting dan serbaguna karena ketahanannya terhadap listrik, termal, dan insulasi akustik. Pemilihan reaktan dan teknologi pembuatan memungkinkan produksi dari foam untuk berbagai aplikasi (Raquel Verdejo, dkk 2008).

2.7 Foam Polyurethane

Foam didefinisikan sebagai substansi yang dibentuk dengan menjebak gelembung gas di dalam cairan /padatan. Polyurethane foam diklasifikasikan ke dalam 3 tipe, yaitu flexible foam, rigid foam dan semi rigid foam. Perbedaan sifat fisik dari 3 tipe polyurethane foam tersebut berdasarkan pada perbedaan berat molekul (molecular weight), fungsionalitas polyol dan fungsionalitas isocyanate. Berdasarkan struktur selnya, foam dibedakan menjadi dua, yaitu closed cell (sel tertutup) dan opened cell (sel terbuka). Foam dengan struktur closed cell merupakan jenis rigid foam. Sedangkan foam dengan struktur opened cell (terbuka) adalah flexible foam. (Cheremisinoff,1989)

Polyurethane foam dibuat dengan menambahkan sedikit bahan volatile yang dinamakan sebagai bahan pengembang (blowing agent) untuk mereaksikan campuran. Acetone, methylene chloride dan beberapa chlorofluorocarbon (CFCl_3) yang sering digunakan sebagai bahan pengembang (blowing agent) pada pembuatan polyurethane.

Terdapat dua system yang dapat digunakan membentuk polyurethane yaitu system one-step (one-shot process) dan system two-step (prepolymer process). System one-step umumnya digunakan dalam pembentukan polyurethane foam, sedangkan system two-step diaplikasikan pada elastomer. System one-step (one-shot process) adalah semua bahan baku untuk menghasilkan polimer yang dicampur bersama-sama. (klempner,2001)

Ada dua reaksi kimia penting ada pembentukan polyurethane foam, reaksi pertama adalah antara isocyanate dengan polynol membentuk polyurethane. Reaksi kedua adalah reaksi antara air dan isocyanate menghasilkan polyuria dan gas CO_2 sebagai chemical blowing agent. (Wang,1998). Reaksi kimia secara sederhana dapat digambarkan sebagai berikut :

Reaksi pembentukan polyurethane :



Adanya senyawa hydrogen aktif dalam air akan mempercepat reaksi antara air dan isocyanate, dimana reaksi tersebut diawali dengan memproduksi asam karbamat yang tidak stabil sehingga cepat terdekomposisi menjadi amine dan melepaskan gas CO₂ sebagai blowing agent. Selanjutnya, amine akan beraksi dengan isocyanate yang belum terkonversi untuk menghasilkan urea sebagai hard segment.

Proses foaming gas yang terbentuk terlarut di dalam polimer hingga mencapai batas saturasi. Saat proses foaming terjadi proses nukleasi yaitu terbentuknya nuclei-nuklei yang akan tumbuh menjadi bubble. Proses nukleasi ini terjadi pada kondisi supersaturasi yang tinggi karena kenaikan suhu yang disebabkan kalor yang tergenerasi sehingga menyebabkan gas berada di luar batas kelarutan. Hal ini mengakibatkan konsentrasi gas di dalam polimer berkurang karena gas berdifusi ke dalam nuclei sehingga tumbuh dan berkembang menjadi bubble. Oleh karena itu terjadi ekspansi volume polyurethane foam.

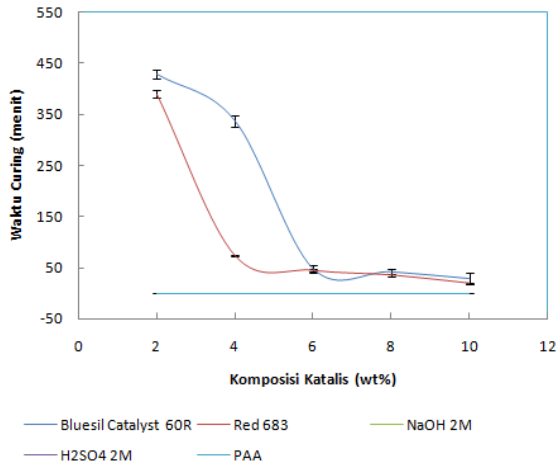
Menurut Luis D. Artavia dan Christopher W. Macosko, perubahan material struktur sel selama foaming terbagi menjadi 4 tahap. :

1. Nukleasi gelembung gas (Bubble nucleation)
2. Foam liquid
3. Pemisahan fase
4. Foam Elastomer

2.8 Kajian Penelitian Sebelumnya

Penelitian yang telah dilakukan tentang Pengaruh jenis katalis terhadap kekuatan Tarik dan stabilitas termal pernah dilakukan oleh (Atha, 2013). Penilitan ini menunjukkan dengan dua katalis komersial, silicon rubber mengalami

pematangan/ vulcanizir dengan waktu yang berbeda tergantung oleh komposisi katalis yang digunakan.



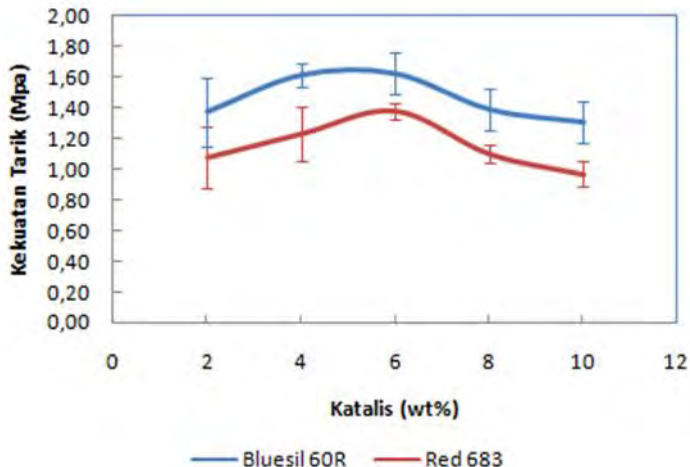
Gambar 2.10 Grafik pengaruh jenis dan komposisi katalis terhadap waktu pematangan (Atha, 2013)

Gambar 2.10 menunjukkan perubahan kecepatan waktu pematangan yang disebabkan oleh penambahan komposisi katalis untuk katalis *Bluesil Catalyst 60R (Dioclyle tin Oxide)* dan *Red 683*. Sedangkan penambahan katalis NaOH 2M, H₂SO₄ 2M, dan poli (aminoamid) bertumpuk pada garis sama dengan nol. Hal ini dikarenakan, ketiga katalis ini tidak dapat membentuk silikon karet meskipun dengan waktu pematangan yang lama dan variasi komposisi katalis yang berbeda.

Pada proses vulkanisir karet silikon ini sebenarnya terjadi proses sambung-silang antara monomer silikon dan membentuk polimer dengan massa molekul yang berbeda. Besar tidaknya massa molekul ini salah satunya dipengaruhi oleh katalis yang ditambahkan. Penyebab tidak terbentuknya karet silikon dengan penambahan katalis NaOH 2M, H₂SO₄ 2M, dan poli (aminoamid) dikarenakan ketiga katalis ini

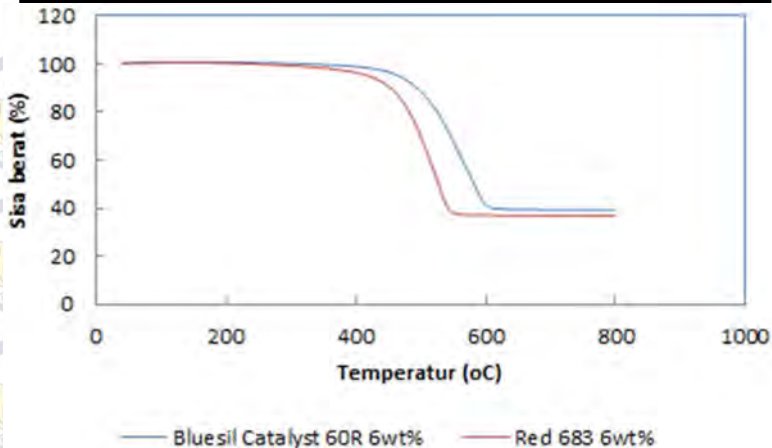
bukan zat yang dapat menyambung-silang silikon untuk bisa menjadi polimer silikon dalam bentuk karet.

Pada kekuatan Tarik dan stabilitas termal menunjukkan adanya perbedaan dengan penggunaan jenis katalis.



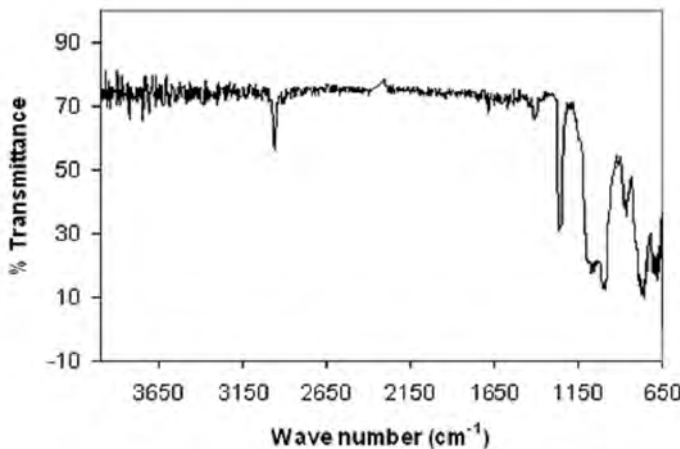
Gambar 2.11 kekuatan Tarik (*tensile strength*) karet silikon (Atha,2013)

Katalis *bluesil* (*Diocyle tin Oxide*) menunjukkan lebih kuat daripada katalis *red 683*. Hal ini menunjukkan katalis komersial masih menunjukkan optimal dalam kekuatan tariknya. Sedangkan untuk stabilitas termal menunjukkan bahwa stabilitas termal dari karet silikon dengan katalis *Bluesil Catalyst 60R* lebih baik daripada karet silikon dengan *Red 683* sebagai katalis pada komposisi katalis sebesar 6wt%. Pengurangan berat 5% ditunjukkan oleh *Bluesil Catalyst 60R* pada temperatur 466 °C, sedangkan *Red 683* pada temperatur 419,5 °C. Seperti Gambar 2.12



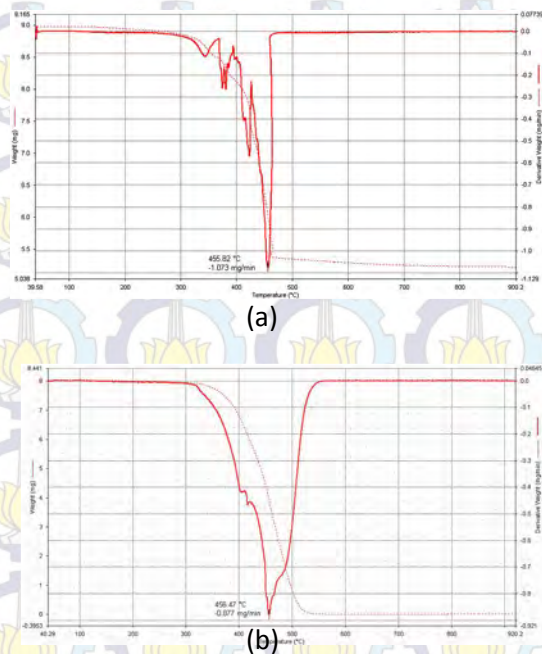
Gambar 2.12 Grafik hasil uji TGA komposisi katalis 6 wt% (Atha,2013)

Selain itu, Beberapa penelitian mengenai kekuatan tarik dan stabilitas termal dari polidimetilsiloksan telah dilakukan. Seperti yang dilakukan oleh Seema, dkk (2010) menunjukkan bahwa tidak ada pengotor pada PDMS. Hal ini bisa dilihat pada Gambar 2.13



Gambar 2.13 FTIR spectrum PDMS (Seema, dkk 2010)

Analisis termal PDMS pada nitrogen dan oksigen bisa dilihat pada gambar a dan b. Bisa dilihat bahwa terdapat deviasi untuk sifatnya pada atmosfer nitrogen dan oksigen. Pada atmosfer nitrogen PDMS secara keseluruhan terurai dan persentase sisanya hanya 0,1 %. Sedangkan dalam atmosfer oksigen persentase sisanya mencapai 58 %. Hal ini dikarenakan pembentukan SiO_2 pada lingkungan oksigen, namun dalam lingkungan nitrogen PDMS secara keseluruhan terurai membentuk oligomer siklik.



Gambar 2.14 Hasil uji DSC- PDMS pada atmosfer a) nitrogen, b) oksigen (Seema, dkk 2010)

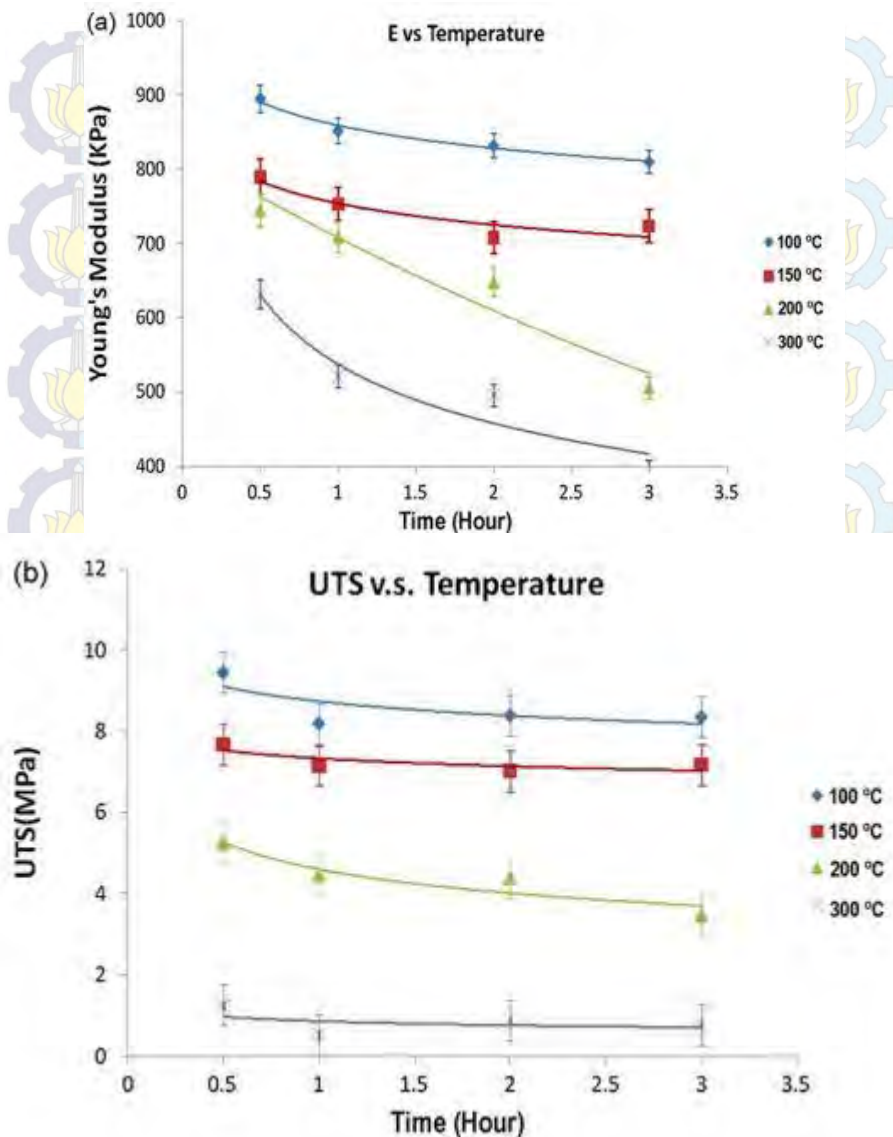
Seema, dkk juga melakukan pengukuran sifat mekanik uap silika-PDMS nano komposit. Dalam penelitiannya Seema, dkk (2010) menyatakan bahwa pengukuran kekuatan tarik

PDMS diukur dengan menggunakan standar ASTM D412 dan kekuatan *tear* diukur dengan standar ASTM D642 (*die C*). Hasil pengukurannya bisa dilihat pada Tabel 2.6. Akan tetapi, yang menjadi fokus penulis dalam penelitiannya ini adalah sifat mekanik PDMS tanpa penguat yang ditunjukkan pada Tabel yang diblok.

Tabel 2.6 Sifat mekanik uap silika-PDMS nano komposit
(Seema, dkk 2010)

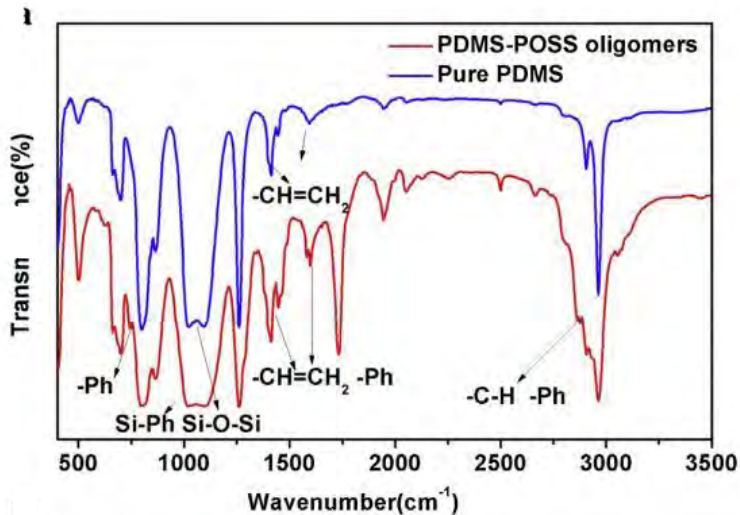
Konsentra si penguat (Phr)	Kekuatan tarik (kg/cm ²)	Modulus saat 50% elongasi (kg/cm ²)	Elongasi saat patah (kg/cm ²)	Kekuatan sobek (kg/cm ²)	Kekeras an tepi A
0	3,153	2,462	74,326	14,909	17
1	4,289	2,382	125,468	13,473	17
2	5,357	2,442	161,514	23,352	15
3	4,356	3,109	87,11	15,487	17
4	3,936	2,387	103,53	....	18
5	3,402	2,238	82,038	22,777	21

(Miao Liu, dkk 2009) telah meneliti pengaruh temperature pemanasan (*heating*) terhadap sifat mekanik polidimetilsiloksan. Variasi temperature untuk vulkanisasi (pematangan) yang digunakan sebesar 100 °C, 150 °C, 200 °C, dan 300 °C selama 30 menit hingga 3 jam.. Hasilnya menunjukkan temperature mempengaruhi kekuatan tarik *Tensile strength* (UTS), dan *modulus young* (E). pada Gambar 2.15 menunjukkan semakin lama waktu pemanasan (*curing*) maka modulus youngnya mengalami penurunan. Pengaruh terhadap temperaturnya semakin tinggi temperature maka modulus young semakin kecil. Sedangkan untuk *tensile strength* (UTS) menunjukkan hasil yang sama dengan modulusnya.



Gambar 2.15 Grafik PDMS hubungan antara *modulus young* dan *tensile strength* terhadap temperature (Miao Liu, 2009)

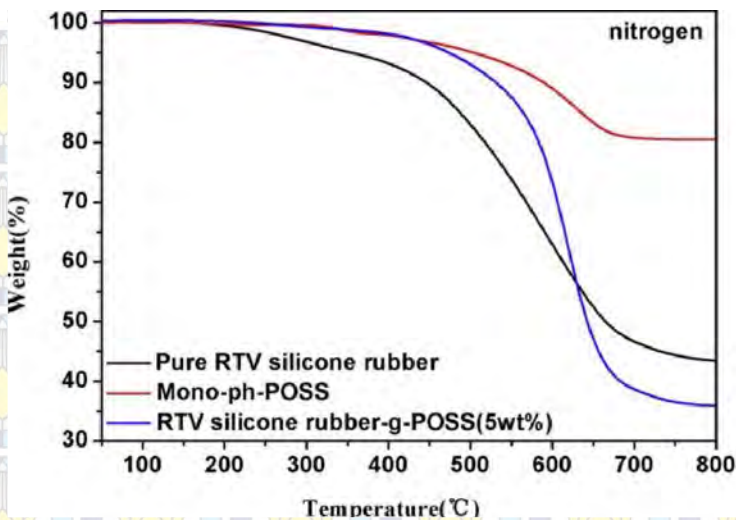
(Yufeng Liu, dkk 2013) dalam jurnalnya meneliti tentang termal *degradation* dari perpaduan karet silicon RTV-*g polyhedral oligomeric*. Penelitian ini menghasilkan beberapa karakteristik dari *pure RTV silicone rubber* dengan hasil FTIR pada Gambar 2.16.



Gambar 2.16 Grafik FTIR pure PDMS dan PDMS POSS oligomers (Yufeng Liu, dkk 2013)

Pada grafik tersebut teridentifikasi terdapat ikatan kimia -CH=CH_2 di peak 1598 dan 1412 cm^{-1} PDMS murni. Selain itu juga terdapat ikatan Si-O-Si di 1007 cm^{-1} . Ikatan Si-O-Si ini yang menyebabkan PDMS mempunyai stabilitas termal yang tinggi. Pada penelitian ini juga menganalisis stabilitas termal dari PDMS.

Termal degradation dari RTV silicone rubber-*g-POSS* diuji dengan TGA. RTV silicone rubber murni diuji sebagai pembandingan. Pengujian TGA dilakukan di atmosfer Nitrogen. Hasil penelitiannya pada Gambar 2.17.



Gambar 2.17 Grafik hasil pengujian TGA
(Yufeng Liu, dkk 2013)

Hasil dari pengujian itu lebih detailnya pada tabel 2.5. massa yang berkurang saat 5% sebesar 354 °C. Temperature maksimalnya sebesar 617°C. berat/massa sisa saat temperature 800°C sebesar 43,5 %.

Tabel 2.7 Hasil pengujian TGA
(Yufeng Liu dkk, 2013)

Characteristic TGA data of mono-ph-POSS, pure RTV silicone rubber and RTV silicone rubber-g-POSSs obtained in nitrogen.

Sample	Temperature for 5% weight loss T_5 (°C)	Temperature for peak degradation T_{max} (°C)	Residue yield at 800 °C (%)
Mono-ph-POSS	504	360,640	80.50
Pure RTV silicone rubber	354	588	43.5
Silicone rubber-g-5wt% POSS	473	617	35.9
Silicone rubber-g-10wt% POSS	489	654	42.36

Penelitian tentang silicone rubber juga dilakukan oleh (Xiaoya Wang, dkk 2013). Dalam jurnalnya membahas tentang pengaruh temperature curing pada komposit silicone rubber dengan carbonyl permalloy powder. Hasilnya menunjukkan ada hubungan antara konduktivitas elektrik dengan temperature *curing*. Tujuan penelitian ini untuk meningkatkan konduktivitas karet sehingga dapat dibuat insulator/ pembungkus yang dapat bersifat konduktor maupun semikonduktor. Tabel 2.8 menunjukkan kekuatan Tarik dari komposit silicone rubber/ Carbonyl permalloy powder.

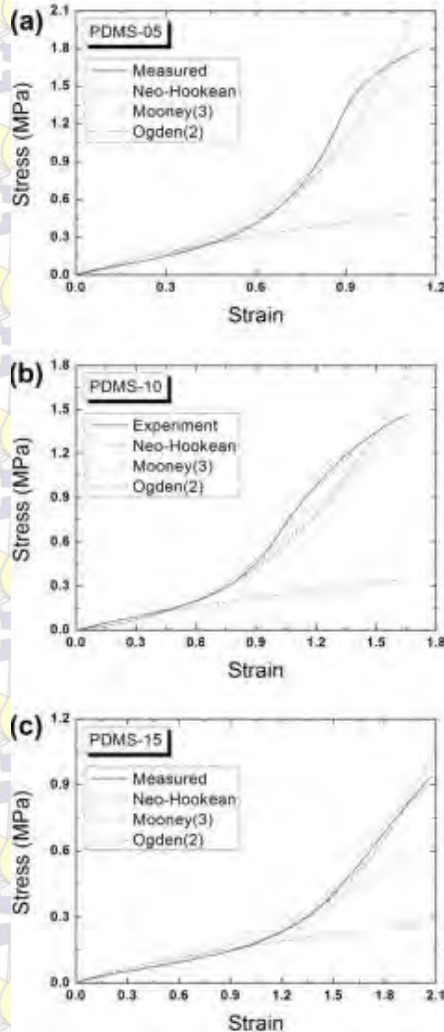
Tabel 2.8 Kekuatan Tarik dan elongation silicone rubber/Carobonyl permalloy powder
(Xiaoya Wang dkk,2013)

Mechanical properties of MVQ/CPP.

Curing temperature (°C)	Ultimate tensile strength (MPa)	Elongation (%)
125	4.7 ± 0.1	77.4 ± 4.9
145	5.3 ± 0.1	91.2 ± 1.1
165	5.4 ± 0.3	89.4 ± 4.1
185	5.5 ± 0.2	94.7 ± 2.1
205	5.4 ± 0.3	87.2 ± 3.1
225	4.9 ± 0.4	79.9 ± 3.6

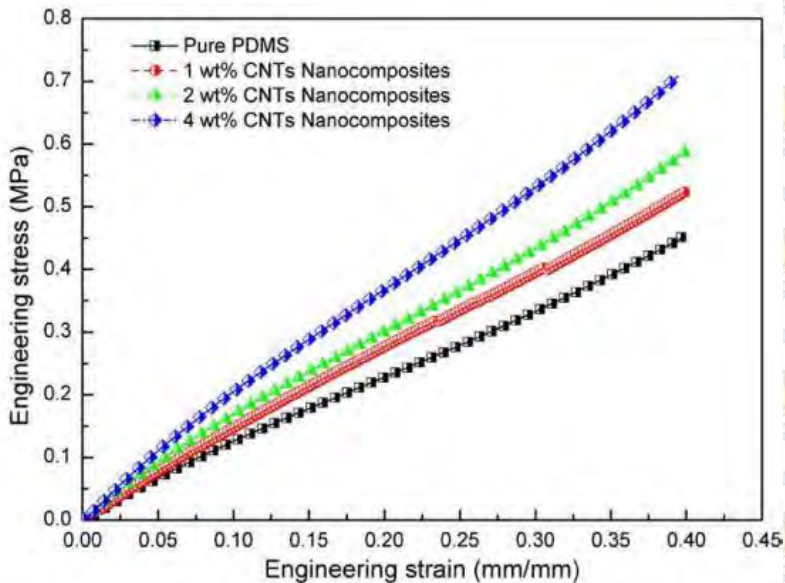
(Tae Kyung Kim, dkk 2011) dalam penelitiannya menyatakan polidimetilsiloksan (PDMS) digunakan untuk membuat berbagai perangkat mikro karena sifatnya yang unggul, seperti harganya murah, biocompatible dan fleksibel. Penelitiannya tentang pengukuran sifat mekanik dari nonlinear PDMS elastomer berdasarkan rasio pencampuran PDMS dengan Curing Catalyst (katalis). Penelitian ini berbasis tes Tarik uniaksial dengan besaran tetap dan uji Tarik tunggal pada temperature kamar. Hasilnya ditunjukkan pada Gambar 2.18. Grafik tersebut menjelaskn hubungan stress-

strain PDMS-05, PDMS-10, PDMS-1515 yang menunjukkan rasio PDMS dengan Curing Catalyst (katalis). Lebih jelas pada gambar 2.18



Gambar 2.18 grafik stress-strain sampel PDMS-5, PDMS-10, PDMS-15 (Tae Kyung Kim, dkk 2011)

(Chung-lin Wu, dkk 2009) dalam penelitiannya tentang statis dan dinamis sifat mekanik dari polidimetilsiloksan dan campuran dari PDMS/carbon nanotube nano komposit. Specimen dibuat dari nanokomposit dengan *thermoforming* pada temperature 150 °C selama 15 menit. Penelitiannya menunjukkan hasil pada Gambar 2.19. Pure PDMS tanpa penambahan katalis mempunyai kekuatan yang paling kecil jika dibandingkan dengan komposit PDMS/CNT.



Gambar 2.19 Grafik stress-strain PDMS/CNT
(Chung-lin Wu, dkk 2009)

(Dongzhi Chen dkk, 2010) dalam jurnalnya meneliti tentang stabilitas termal dan sifat mekanik dari *novel* RTV silicone rubbers/ karet silikon menggunakan divinyl-hexa [(trimethoxysilyl)ethyl]-POSS sebagai *Curing Catalyst* (katalis) atau agen ikat silang. Tujuan dari penambahan POSS untuk meningkatkan properties seperti stabilitas thermal,

surface hardening, dan sifat mekanik dari PDMS. Seperti diketahui PDMS telah menjadi kelas penting rantai inorganic polimer yang telah digunakan dalam berbagai produk industry dan sintesis pelumas, resin, dan dielektrik. Sampai saat ini PDMS terus diteliti untuk sifat uniknya, seperti permeabilitas yang tinggi, dan viskositas rendah.

Pada penelitian ini, PDMS ditambahkan *Curing Catalyst* (katalis) divinyl-hexa [(trimethoxysilyl)ethyl]-POSS dengan variasi komposisi (5, 10, 15, 20, 25, 30) wt% dipanaskan pada temperature 130 °C selama 2 jam. lebih lengkapnya pada Tabel 2.9

Tabel 2.9 Sifat mekanik RTV silicone rubber
(Dongzhi Chen dkk, 2010)

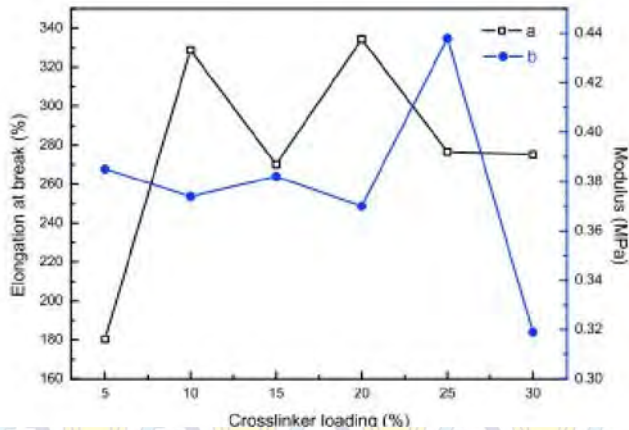
Reaction formulations and mechanical properties of the RTV silicone rubber.

Sample	Cross-linker (wt %)	Tensile strength (MPa)	The sol fraction (%)	Degree of swelling (%)
TE	10.0	0.469	5.28	338
DVP1	5.0	0.559	4.12	284
DVP2	10.0	0.799	5.24	316
DVP3	15.0	0.729	2.67	228
DVP4	20.0	0.817	4.05	243
DVP5	25.0	0.849	3.82	242
DVP6	30.0	0.618	4.03	217

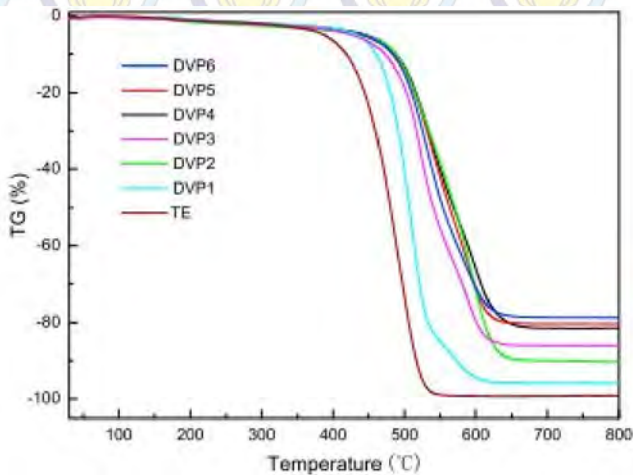
Sifat mekanik yang diteliti menghasilkan kekuatan Tarik, *elongation* atau keuletan dan modulus young. Kekuatan Tarik menunjukkan kenaikan saat RTV silicone rubbers dipreparasi dengan DVPS cross-linker, dibandingkan dengan tetra-functional cross-linker (TEOS). Elongation atau keuletan dari RTV silicone rubbers meningkat dengan meningkatnya % komposisi dari crosslinker. Modulus elastisitasnya juga mengalami peningkatan dari 0,315 ke 0,438 MPa seiring penambahan Vinyl-POSS. Lebih jelasnya pada Gambar 2.20.

Stabilitas thermal pada RTV silicone rubber dengan penambahan *Curing Catalyst* (katalis) juga diteliti. Penelitian dilakukan dengan metode TGA dalam atmosfer nitrogen. Hasilnya menunjukkan saat berat yang hilang sebesar 10 % pada temperature 419 °C. pada grafik menunjukkan bahwa

semakin tinggi komposisi agen crosslinker atau Curing Catalyst (katalis) POSS semakin meningkat stabilitas termalnya. lebih lengkapnya pada Gambar 2.21



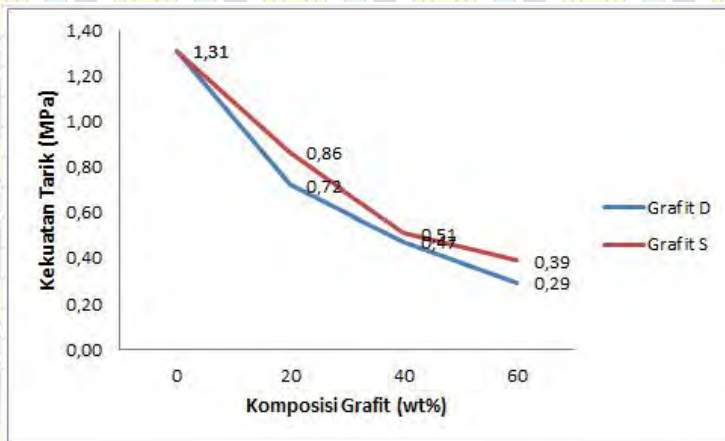
Gambar 2.20 efek crosslinker terhadap mechanical properties modulus dan elongation break (Dongzhi Chen dkk, 2010)



Gambar 2.21 grafik TGA RTV silicone rubber di lingkungan

Nitrogen

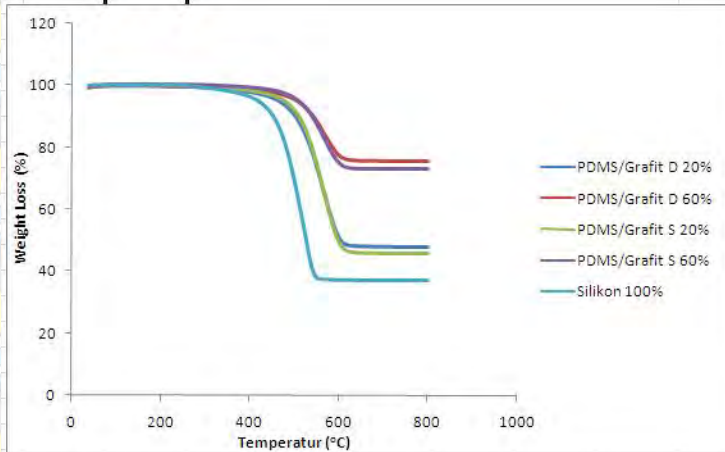
Penelitian tentang komposit PDMS/Grafit telah diteliti oleh (Ivan,2013). Penelitiannya bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan Grafit terhadap kekuatan Tarik (*tensile strength*), konduktivitas listrik serta stabilitas termal pada komposit PDMS/Grafit. Hasilnya semakin banyak grafit maka kekuatan tarikanya semakin menurun. Hal ini terdapat pada Gambar 2.22



Gambar 2.22 Grafik uji Tarik PDMS/Grafit
(Ivan,2013)

Stabilitas termal (*thermal stability*) pada komposit PDMS/Grafit menunjukkan pengurangan berat 5% dengan komposisi grafit D 20% terjadi pada temperature 463,5 °C dengan berat sisa saat temperatur 800 °C adalah 47%. Sedangkan pada komposit dengan komposisi grafit D sebesar 60% pengurangan 5% berat terjadi pada temperatur 508 °C dengan berat sisa saat temperatur 800 °C sebesar 75%. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan grafit dalam komposit dapat meningkatkan stabilitas termal dengan melihat berat sisa saat temperatur 800°C. Pada PDMS tanpa penambahan grafit tersisa 36,9% saat temperatur 800°C. Pada temperatur

419 °C merupakan titik dimana PDMS mulai terdegradasi. Lebih lengkapnya pada Gambar 2.23 dan tabel 2.10.

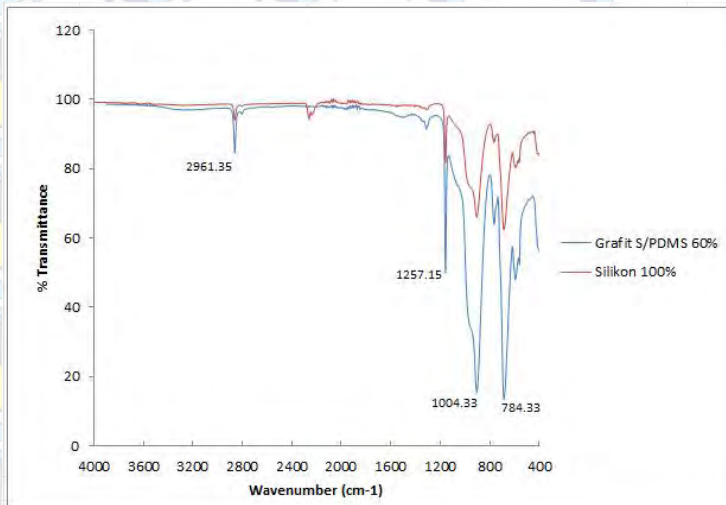


Gambar 2.23 Grafik stabilitas termal komposit PDMS/Grafik (Ivan,2013)

Tabel 2.10 Hasil TGA komposit PDMS/Grafite (Ivan,2013)

Sampel	T(°C) 5% loss	T(°C) 10% loss	Berat Sisa 800°C (wt%)
PDMS 100%	419,5	453,3	6,3 (36,9%)
PDMS/Grafite D 20%	463,5	502	13,36 (47,73%)
PDMS/Grafite D 60%	508	543,5	21,13 (75,47%)
PDMS/Grafite S 20%	478,5	510	12,83 (45,84%)
PDMS/Grafite S 60%	511,1	540,8	20,46 (73,07%)

Analisa ikatan pada komposit PDMS/Grafit juga dilakukan. Pada pengujian FTIR, sampel yang diuji PDMS 100% dengan komposit PDMS/Grafit. Hasil analisa FTIR pada Gambar 2.24.



Gambar 2.24 Hasil analisa FTIR PDMS dan komposit PDMS/Grafit (Ivan,2013)

Analisa peak (puncak) daerah serapan PDMS murni 100% ditunjukkan pada Tabel 2.11.

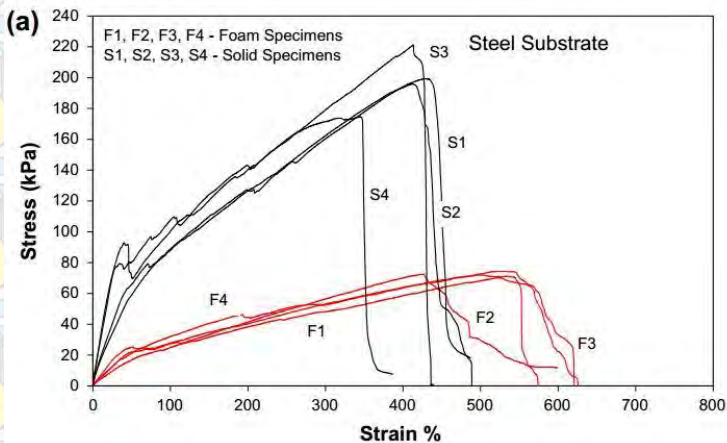
Tabel 2.11 Daerah serapan PDMS 100% (Ivan,2013)

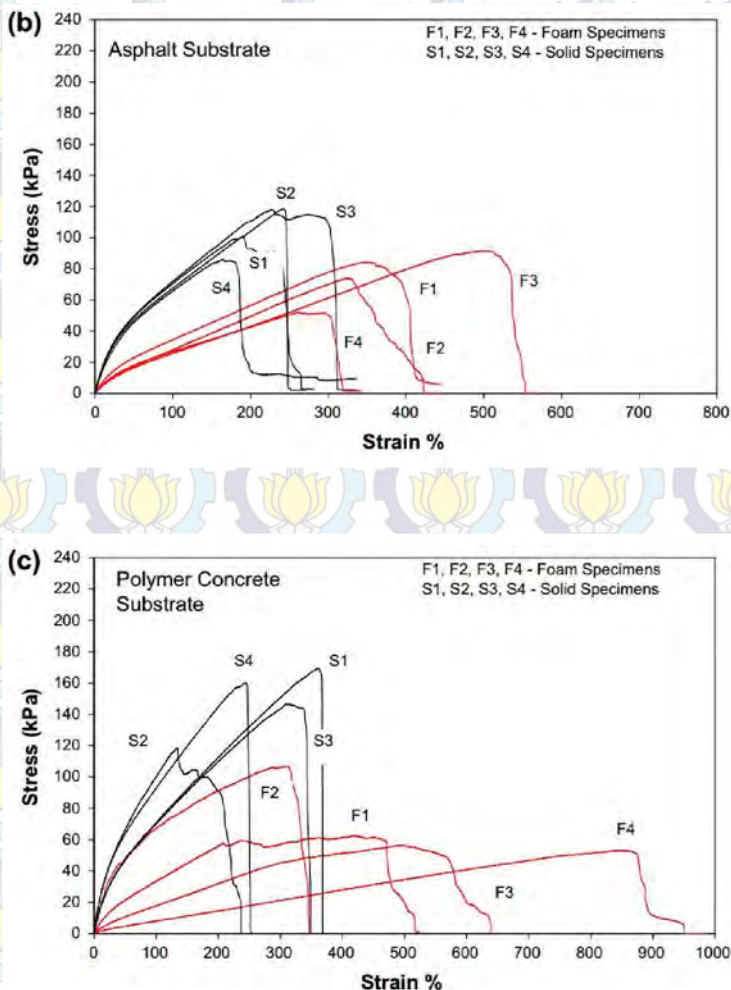
Daerah serapan (cm-1)	Ikatan	Gugus Fungsi
2362	C-H stretch	Alkana
1412	O-H bend	Hidroksil
1258	C-H	Alkana
1007	Si-O stretch	Siloksan

864	Si-O	Siloksan
787	Si-O bend	Siloksan
694	Si-O Bend	Siloksan


Berdasarkan analisa FTIR tersebut, maka didapatkan ikatan antara Si-O yang mendominasi jumlah ikatannya. Hal inilah menunjukkan adanya gugus siloksan pada PDMS.

Penelitian tentang Foam silicone rubber telah diteliti oleh (Ramesh B. Malla dkk, 2011) untuk evaluasi Laboratory dari sealant Foam Silicone sebagai material sambungan pada jembatan (*expansion joints*). Foam silicone dalam penelitian ini komposisinya berupa WABO two-part silicone sealant, water, crosslinker, dan platinum catalyst. Material substrat yang digunakan berupa Steel, Asphalt, dan Polymer. Pengujian yang dilakukan salah satunya *pull test*. Hasilnya pada gambar 2.25.





Gambar 2.25 pull test, grafik stress-strain (a) Steel, (b) Asphalt, (c) Polymer (Ramesh B. Malla dkk, 2011)



(halaman ini sengaja dikosongkan)

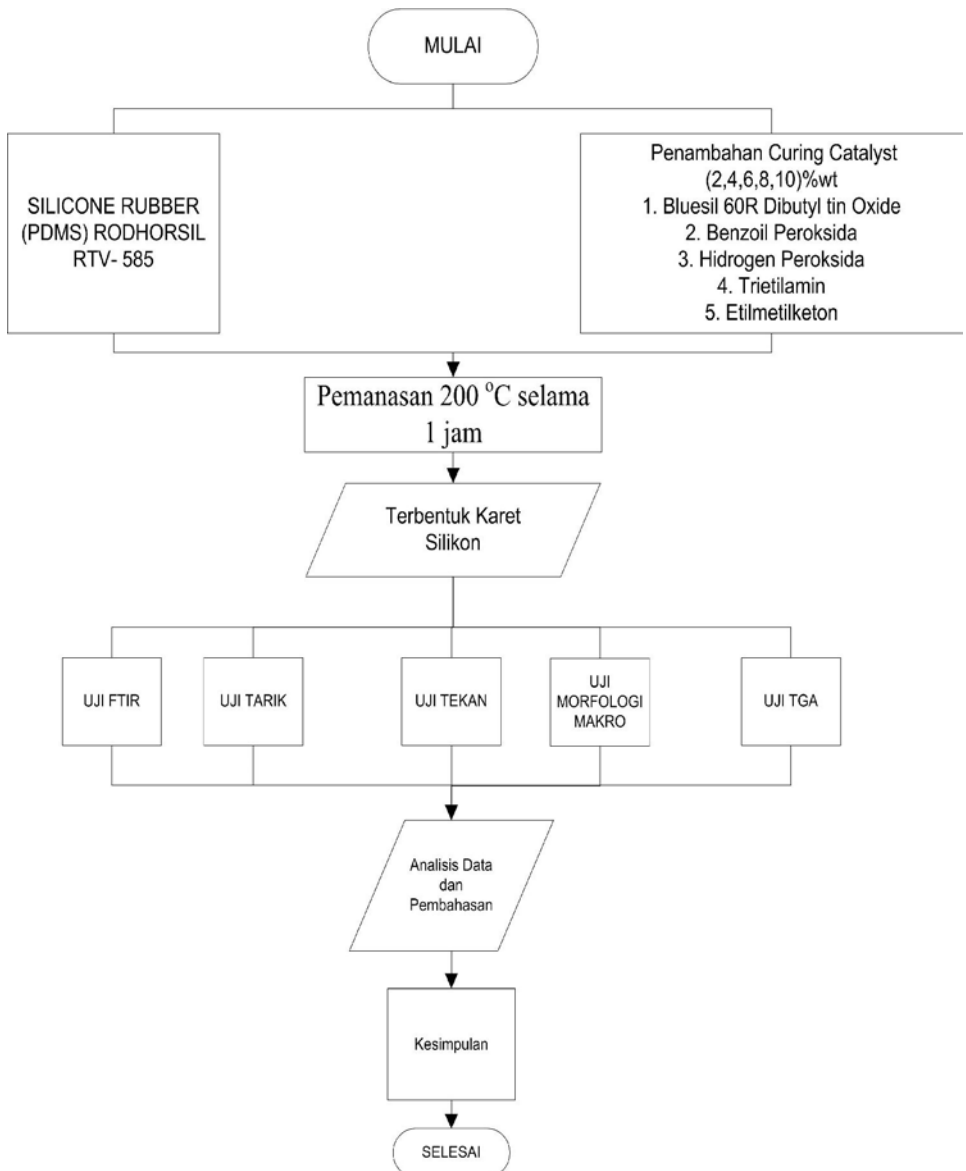


BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menyiapkan material awal berupa karet silikon RODHORSIL RTV-585 dan curing agent(katalis) untuk proses pematangannya. Penambahan curing agent ini dilakukan dengan komposisi masing-masing 2 %, 4%, 6%, 8% dan 10%. Setelah terbentuk karet silikon, maka dilakukan pengujian. Pengujiannya meliputi uji FTIR, uji Tarik, uji Tekan, morfologi makro dan Uji TGA. Setelah itu dilakukan analisa data dan pembahasan yang telah didapat dari penelitian yang telah dilakukan. Data-data yang telah dianalisa dan dibahas selanjutnya ditarik kesimpulan dari hasil analisa yang telah dilakukan. Saat kesimpulan telah diambil, maka penelitian ini telah selesai. Lebih lengkap pada Gambar 3.1

**Gambar 3.1** Diagram Alir Percobaan

3.2 Material dan Metode Penelitian

Material yang digunakan dalam penelitian berupa Silicone rubber merk Rhodorsil RTV – 585 dari PT Justus Kimiaraya. *Curing agent* (katalis) yang digunakan antara lain Dibutyl tin Oxide atau Bluesil (katalis komersial), Benzoil Peroksida merk KGaA 64271 Darmstadt Germany, Hidrogen peroksida merk Kimia raya LIPI, Trietilamin bermerk – Schuchardi Germany dan Etilmetilketon bermerk KGaA, Germany.

Preparasi pembuatan karet silikon dilakukan dengan menambahkan *curing catalyst* (katalis) dengan komposisi 2 %, 4%, 6%, 8%, 10% ke silicone RTV 585 dalam 20 gr berat total. PDMS yang ada dalam silicone RTV 585 yang telah ditambahkan curing catalyst selanjutnya dipanaskan dengan temperature 200 °C selama 1 jam. Karet yang telah terbentuk selanjutnya akan dilakukan pengujian. Pengujiannya meliputi uji FTIR, uji TGA, uji Tarik dan uji Tekan. Uji FTIR untuk mengetahui ikatan dalam karet silikon. uji Tarik (*tensile*) dan tekan (*compression*) untuk mengetahui masing - masing kekuatannya, morfologi makro untuk mengetahui bentuk permukaan karet silikon dan Uji TGA untuk mengetahui stabilitas termal pada karet silikon.

3.3 Rancangan Penelitian

Pada penelitian ini dibuat rancangan penelitian yang akan dilakukan. Hal ini untuk mempermudah mendata hasil selama pengujian. Setiap satu jenis curing agent (katalis) akan ditambahkan ke dalam silicone rubber Rhodorsil RTV 585 dengan komposisi 2 %, 4%, 6%, 8%, 10% dalam 20 gr berat total. Sampel yang dibuat 3 sampel per komposisinya. Gambaran rancangan penelitian pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Rancangan Penelitian

No	Material		Komposisi katalis (wt%)	Pengujian				
	Karet silikon	Jenis katalis		Sampel	TGA	FTIR	Tarik	Tekan
1.	<i>Silicon Rubber Rhodorsil RTV 585</i>	<i>Dibutyl tin oxide / benzoil peroxide/ hidrogen peroxide/ Trietilamin/ Etilmetilketon</i>	2	1				
				2				
				3				
			4	1				
				2				
				3				
			6	1				
				2				
				3				
			8 – 10	1				
				2				
				3				

3.4 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

1. Silicon Rubber Rhodorsil RTV – 585

Jenis polidimetilsiloksan (PDMS) yang dipakai pada penelitian ini adalah *Silicon Rubber Rhodorsil RTV-585*, yang didapat dari PT. Justus Kimiaraya.

Ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Silicon Rubber Rhodorsil RTV 585

2. Katalis Benzoil Peroxide

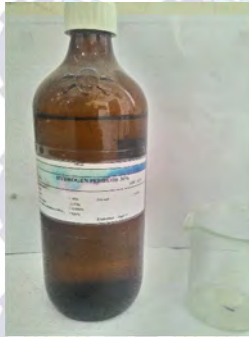
Katalis yang digunakan pada penelitian kali ini benzoil peroxide berupa serbuk merk KGaA, 64271 Darmstadt Germany. Ditunjukkan oleh Gambar 3.3



Gambar 3.3 Benzoil Peroxide

3. Hidrogen Peroksida

Larutan Hidrogen peroksida ini bermerk kimia raya LIPI pada Gambar 3.4



Gambar 3.4 Hidrogen Peroksida

4. Trietilamin

Larutan Trietilamin yang digunakan dalam penelitian ini bermerk –Schuchardi Germany



Gambar 3.5 Larutan Trietilamin

5. Etilmetilketon

Larutan yang digunakan bermerk KGaA, Germany



Gambar 3.6 larutan Etilmetilketon

3.5 Variabel Penelitian

Variable yang digunakan dalam penelitian ini adalah variasi komposisi katalis yaitu 2, 4, 6, 8 dan 10 wt%

3.6 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

1. Neraca Digital

Alat ini digunakan untuk menimbang massa dari semua bahan yang digunakan.



Gambar 3.7 Neraca digital

2. Pipet

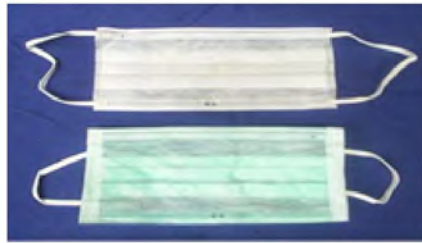
Pipet yang digunakan disini adalah pipet standar untuk mengambil larutan.



Gambar 3.8 Pipet

3. Masker

Digunakan untuk menghindari terhirupnya uap beracun.



Gambar 3.9 Masker

4. Gelas beaker

Digunakan untuk meletakkan dan menghitung volume larutan.



Gambar 3.10 Gelas beaker

5. Pengaduk kaca

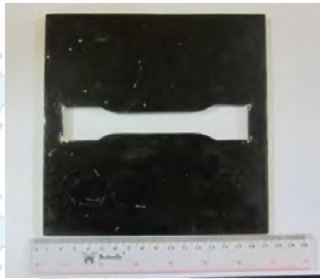
Alat pengaduk kaca digunakan untuk mengaduk campuran



Gambar 3.11 spatula/pengaduk kaca

6. Cetakan spesimen uji Tarik

Cetakan yang digunakan untuk specimen uji Tarik silicon rubber



Gambar 3.12 cetakan uji Tarik

7. Aluminium Foil
Digunakan sebagai pembungkus cetakan agar mempermudah dalam hasil cetakan.

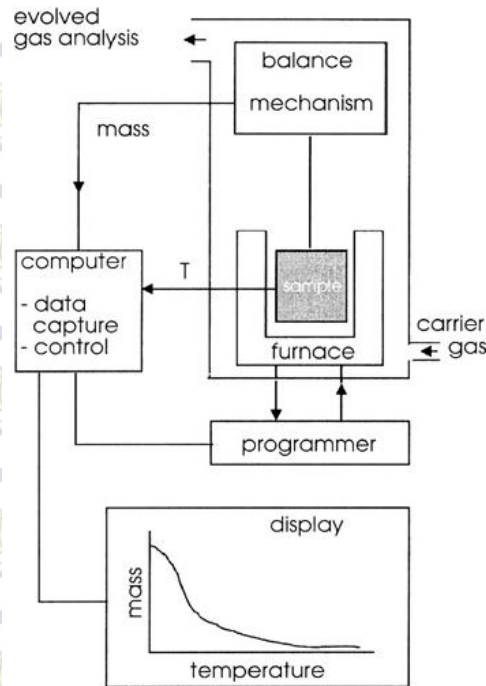


Gambar 3.13 Aluminium foil

8. Thermogravimetric Analysis (TGA)
Pengujian TGA dengan menggunakan alat TGA STAR^e System. *Thermogravimetric Analysis* (TGA) adalah alat pengukuran perubahan massa yang terjadi akibat dari perubahan temperatur. TGA dapat digunakan untuk mendeteksi perubahan massa sample (*weight loss*) PDMS/PS. Analisa tersebut bergantung pada tiga pengukuran yaitu berat, temperatur, dan perubahan temperatur. Analisa termal gravimetri merupakan metode analisis yang menunjukkan sejumlah urutan dari lengkungan termal, kehilangan berat dari bahan setiap tahap, dan temperatur awal penurunan. Analisa termal gravimetric dilakukan untuk menentukan

kandungan pengisi dan kestabilan termal dari suatu bahan. Metode TGA ini mengukur berkurangnya massa material ketika dipanaskan dari suhu kamar sampai suhu tinggi yang biasanya sekitar 900°C . Alat TGA dilengkapi dengan timbangan mikro didalamnya sehingga secara otomatis berat sampel setiap saat bisa terekam dan disajikan dalam tampilan grafik. Pada pemanasan yang terus menerus dari temperatur kamar, maka pada temperatur-temperatur tertentu material akan kehilangan cukup signifikan dari massanya. Kehilangan massa pada temperatur tertentu dapat mengindikasikan kandungan dari bahan uji, meski tidak bisa secara spesifik merujuk pada suatu senyawa tertentu seperti yang misalnya ditunjukkan oleh puncak – puncak dari histogram FTIR. Sehingga biasanya TGA digunakan untuk melakukan analisa *proximate* seperti kadar air, kadar senyawa volatil dan kadar abu dalam bahan. Copolymer PDMS/PS yang telah dipotong sehingga berukuran kecil dimasukkan ke dalam cawan kecil dari bahan platina, atau alumina ataupun Teflon. Pemilihan bahan dari cawan ini perlu disesuaikan dengan bahan uji. Pastikan bahan uji tidak bereaksi dengan bahan cawan serta tidak lengket ketika dipanaskan.





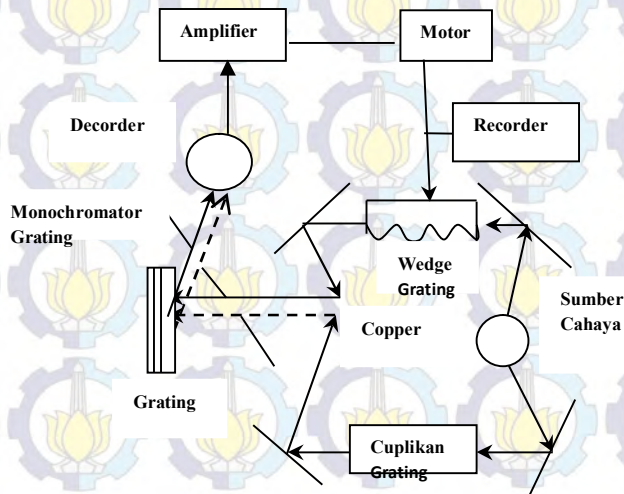
<http://www.globalspec.com/reference/36940/203279/chapter-3-thermogravimetry-tg> (diakses tanggal 21-09-2014, 19.52)

Gambar 3.14 Alat uji Termal

9. *Fourier Transform Infra Red (FTIR)*

Alat FTIR digunakan untuk mengetahui ikatan-ikatan kimia yang ada pada copolimer PDMS/PS. Ikatan tersebut ditunjukkan dengan puncak-puncak yang dihasilkan dari penyerapan spektrum inframerah yang ditembakkan pada sampel membran. Masing-masing jenis ikatan pada polimer memiliki daerah puncak penyerapan yang memiliki karakteristik berbeda-beda. Dengan melihat puncak yang ada maka dapat disesuaikan dengan referensi terkait jenis ikatan

tersebut untuk memprediksi ikatan kimia dari polimer. Adapun cara kerja FTIR seperti berikut ini: Mula mula zat yang akan diukur diidentifikasi, berupa atom atau molekul. Sinar infra merah yang berperan sebagai sumber sinar dibagi menjadi dua berkas, satu dilewatkan melalui sampel dan yang lain melalui pembanding.



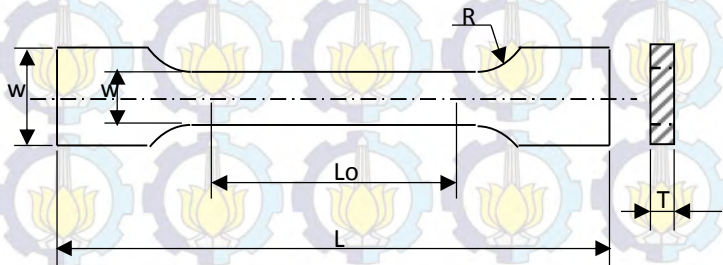
Gambar 3.15 Skema mesin FTIR



Gambar 3.16 Alat uji FTIR

10. Alat Uji Tarik

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik material kuat tarik yang mengacu pada ASTM D638M. Kekuatan tarik menunjukkan kemampuan untuk menerima beban atau tegangan tanpa menyebabkan copolymer menjadi rusak atau putus. Ini dinyatakan dengan tegangan maksimal sebelum putus yaitu *ultimate tensile strength* (UTS). Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan *Tensile Strength*, *Elongation*, dan *Tensile Modulus* dari copolymer PDMS/PS. Setelah pengujian akan didapatkan kurva Tegangan-Regangan.



Gambar 3.17 Spesimen Uji Tarik (ASTM D638M) dan Alat uji Tarik

Menurut ASTM D638M untuk jenis spesimen yang digunakan pada riset ini ketebalannya kurang dari 4mm dan masuk ke golongan V. Untuk klasifikasi ukuran dari spesimen uji tarik dapat dilihat di tabel 3.2

$$\text{Kekuatan Tarik } \sigma_{ultimate} = \frac{P_{ultimate}}{A} \dots\dots\dots (3.1)$$

$$\text{Elongasi } \varepsilon = \frac{\Delta L}{L_o} \dots\dots\dots (3.2)$$

$$\text{Modulus Young } E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \text{ (pada daerah elastis)..(3.3)}$$

Dimana :

P = beban yang diberikan pada specimen (N)

A = luas penampang specimen (mm²)

ΔL = pertambahan panjang (mm)

L_o = panjang awal specimen (mm)

Tabel 3.2 Dimensi spesimen dilihat dari tipe ketebalan

Dimensions (see drawings)	7 (0.28) or under		Over 7 to 14 (0.28 to 0.55), incl		4 (0.16) or under		Tolerances
	Type I	Type II	Type III	Type IV ^B	Type V ^{C,D}		
W—Width of narrow section ^{E,F}	13 (0.50)	6 (0.25)	19 (0.75)	6 (0.25)	3.18 (0.125)	±0.5 (±0.02) ^{B,C}	
L—Length of narrow section	57 (2.25)	57 (2.25)	57 (2.25)	33 (1.30)	9.53 (0.375)	±0.5 (±0.02) ^C	
WO—Width overall, min ^G	19 (0.75)	19 (0.75)	29 (1.13)	19 (0.75)	...	+ 6.4 (+ 0.25)	
WO—Width overall, min ^G	...	...	...	...	9.53 (0.375)	+ 3.18 (+ 0.125)
LO—Length overall, min ^H	165 (6.5)	183 (7.2)	246 (9.7)	115 (4.5)	63.5 (2.5)	no max (no max)	
G—Gage length ^I	50 (2.00)	50 (2.00)	50 (2.00)	...	7.62 (0.300)	±0.25 (±0.010) ^C	
G—Gage length ^I	...	...	...	25 (1.00)	...	±0.13 (±0.005)
D—Distance between grips	115 (4.5)	135 (5.3)	115 (4.5)	65 (2.5) ^F	25.4 (1.0)	±5 (±0.2)	
R—Radius of fillet	76 (3.00)	76 (3.00)	76 (3.00)	14 (0.56)	12.7 (0.5)	±1 (±0.04) ^C	
RO—Outer radius (Type IV)	...	...	...	25 (1.00)	...	±1 (±0.04)

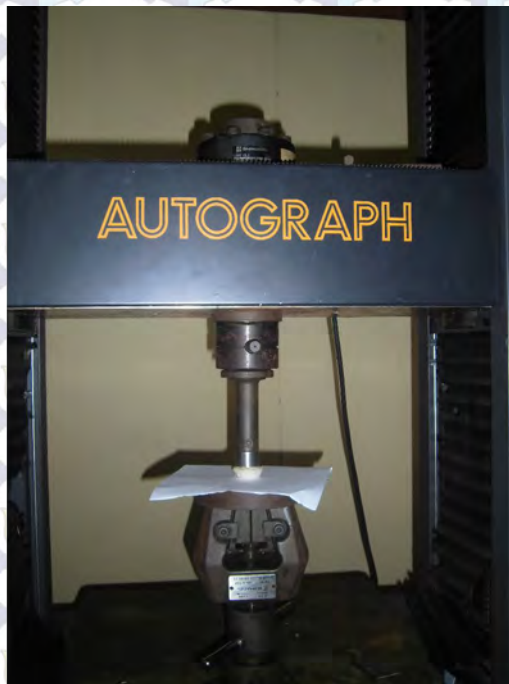
Sumber : ASTM D638M

11. Uji Tekan

Pengujian tekan ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan tekan dari material. Standar yang digunakan yaitu ASTM D575. Alat yang digunakan sama dengan alat uji Tarik, bedanya arah gaya. Standar ini digunakan pada karet yang keras maupun yang berongga.

Specimen yang digunakan berbentuk selinder dengan ukuran diameter $28.6 \pm 0,1$ mm ($1,129 \pm 0,005$ in), luas (650 mm^2 ($1,000 \text{ in}^2$) dan tebalnya $12,5 \pm 0,5$ mm ($0,49 \pm 0,02$ in) .

Prosedur penekanan saat ditekan telah mengalami kerusakan, maka penekanan saat itu juga dihentikan.



Gambar 3.18 alat uji Tekan

12. Morfologi Makro

Pengujian ini digunakan untuk mengetahui struktur permukaan secara makro karet silikon. Pengamatan struktur menggunakan alat makroskopik stereo Stemi DV 4. untuk pengamatan secara



Gambar 3.19 makro 4 Pengamatan secara makro mikroskop stereo Stemi DV 4



(halaman ini sengaja dikosongkan)



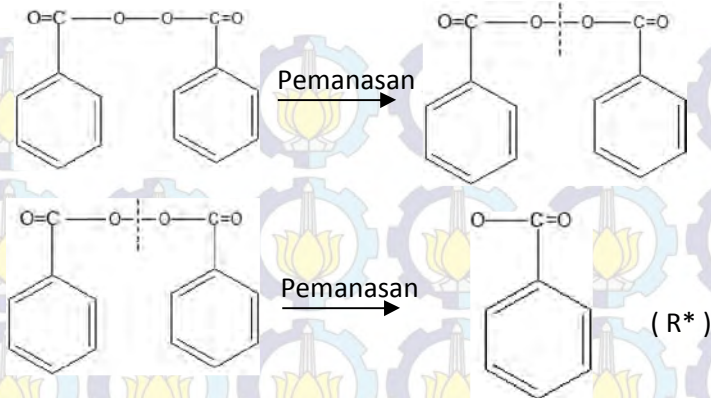
BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

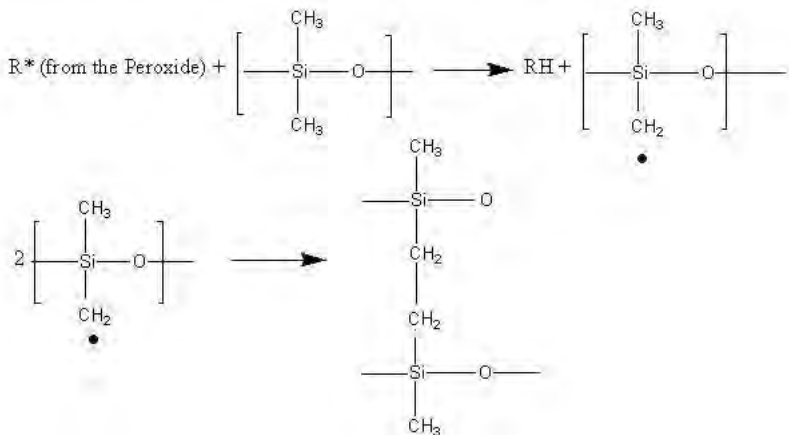
4.1 Preparasi Pembuatan Karet Silikon

Pada penelitian yang telah dilakukan menggunakan bahan utama berupa karet silikon. Karet ini akan melalui proses vulkanisir untuk mencapai kematangan karet. Proses tersebut dilakukan dengan penambahan katalis. Jenis katalis yang digunakan antara lain *Bluesil Catalyst 60R* (komposisi Sn sebesar 2,27%), *Benzoil peroksida (BPO)*, *asam nitrat trietilamin*, *etilmetilketon* dengan variasi komposisi tetap (2, 4, 6, 8, 10) %. Proses pematangan karet ini memerlukan temperatur sebesar 200°C selama 1 jam.

Pada proses vulkanisir karet silikon merupakan proses sambung-silang antara monomer silikon dan membentuk polimer dengan massa molekul yang berbeda. Besar tidaknya massa molekul ini salah satunya dipengaruhi oleh katalis yang ditambahkan. Penyebab tidak terbentuknya karet silikon dengan penambahan katalis *Hidrogen Peroksida*, *trietilamin* dan *etilmetilketon* dikarenakan ketiga katalis ini bukan zat yang dapat menyambungkan silang silicon untuk bisa menjadi polimer silicon dalam bentuk karet. Walaupun sama-sama gugus peroksida, Hidrogen peroksida tidak dapat vulkanisasi karena tidak adanya rantai siklik atau tertutup seperti gugus benzene. Seperti pada proses pemotongan rantai pada Gambar 4.1 menunjukkan gugus Benzene pada peroksida yang dapat membentuk radikal bebas. Radikal bebas ini akan bereaksi dengan metil dari silicon yang bereaksi dengan hidrogen dan lepas dari CH_2 yang reaktif. Kemudian radikal bebas ini akan selalu berikatan dengan cabang $-\text{CH}_2$ hingga membentuk ikat silang (*crosslink*) (M Morton, 1963).



Gambar 4.1 reaksi Pemotongan rantai peroksida



Gambar 4.2 Reaksi peroksida dengan gugus siloksan
(M Morton,1963).

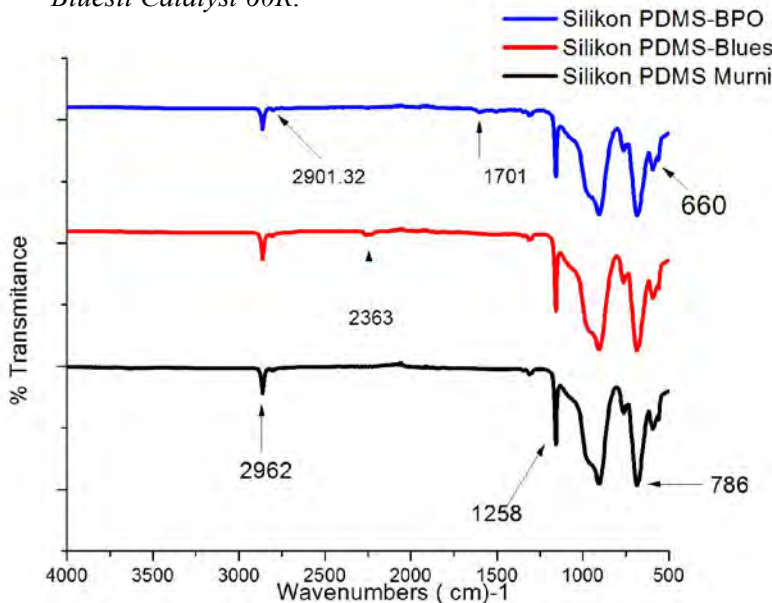
Gambar 4.1 merupakan proses terputusnya gugus rantai peroksida akibat pemanasan. Rantai itu putus tepat antara ikatan O – O yang membuat potongan yang sama satu sama lain. Akibatnya, pada ikatan O terdapat electron bebas tanpa

Proses ikat silang (*crosslink*) pada *curing agent* (katalis) *Diocetyl tin Oxide* atau Bluesil (katalis komersial) ada ikatan $-O-Si-O-$ sebagai penghubung antara rantai polimer gugus siloksan. Perbedaan dengan Benzoil peroksida adalah tidak adanya radikal bebas pada proses reaksi vulkanisasi. Rantai yang berikatan dengan O pada gugus siloksan (RO) akan berikatan dengan atom H dari rantai polimer yang paling akhir. Ini merupakan hasil reaksi akan tetapi tidak masuk ke dalam rantai polimernya. Ilustrasinya pada Gambar 4.3.

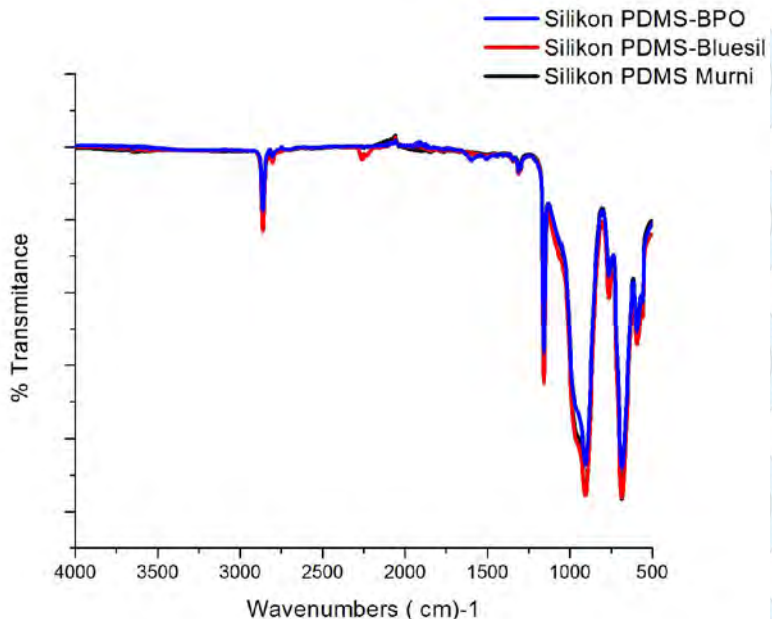


4.2 Studi FTIR

Karakteristik kimia karet silikon juga bisa diamati dengan mengamati ikatan kimia penyusunnya. Pengujian untuk bisa mengetahui senyawa kimia berdasarkan ikatan atom dapat menggunakan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR). Uji FTIR ini dilakukan untuk mengetahui senyawa kimia pada karet silikon yang terbentuk dan katalis *Bluesil Catalyst 60R* serta benzoil peroksida. Pada pengujian ini akan didapatkan hasil sebuah grafik yang memiliki *peak* khusus yang berisi informasi ikatan tiap senyawa pada sampel. Peak grafik akan berada pada range 400 – 4000. Gambar 4.4 dan gambar 4.5 menunjukkan perbandingan hasil grafik antara spectra (IR) inframerah karet silikon murni dengan karet silikon dengan penambahan katalis Benzoil Peroksida dan *Bluesil Catalyst 60R*.



Gambar 4.4 Hasil pengujian FTIR pada karet silikon dengan penambahan katalis



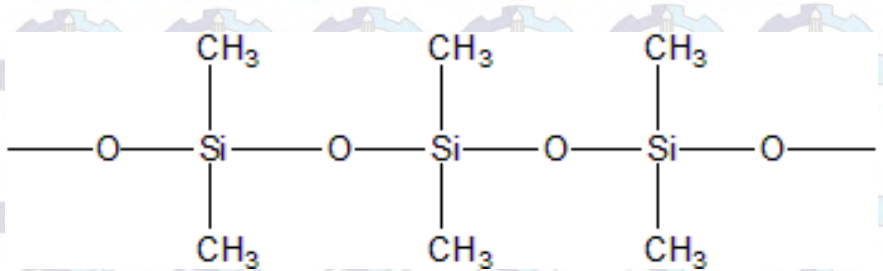
Gambar 4.5 Hasil FTIR Karet Silikon

Gambar 4.4 dan 4.5 menunjukkan bentuk grafik yang hampir sama antara karet silikon murni non katalis dengan karet silikon penambahan katalis *Bluesil Catalyst 60R* (*Diocetyl tin Oxide*) dan karet silikon dengan katalis benzoil peroksida. Hal ini disebabkan karena kedua katalis mempercepat proses vulkanisir karet. Berdasarkan grafik tersebut, maka dapat dipastikan bahwa puncak hasil FTIR di atas mewakili ikatan kimia dari karet silikon yaitu PDMS/*poli (dimetilsiloksan)*. Senyawa yang ada pada karet silikon bisa ditentukan dengan menganalisa peak FTIR. Daerah serapan dari masing-masing karet silikon beserta ikatannya bisa dilihat pada Tabel 4.1

Tabel 4.1 Analisa daerah serapan dan ikatan kimia karet

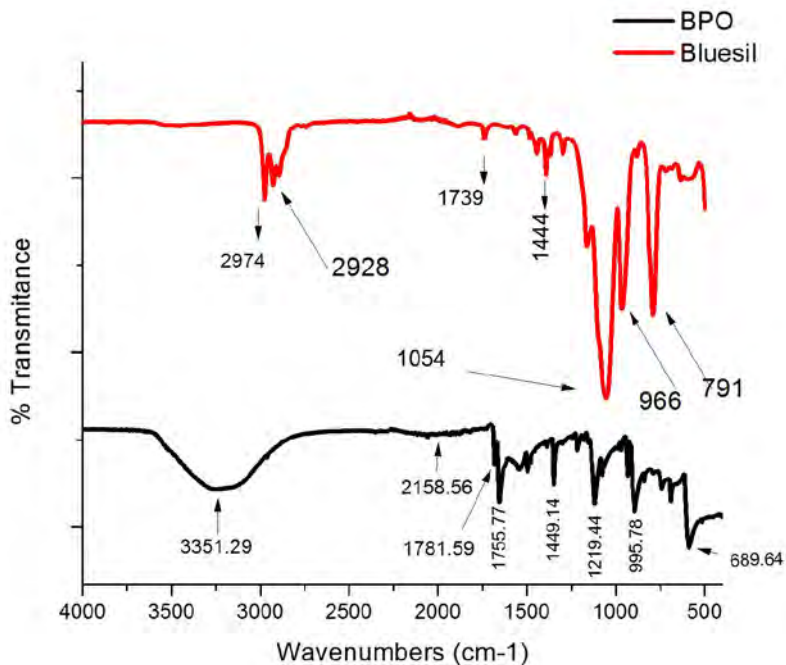
Material Karet	Daerah serapan (cm-1)	Ikatan	Gugus Fungsional
Silikon PDMS Murni	2962	C-H stretch	Alkana
	1412	O-H bend	Hidroksil
	1258	Si-CH ₃	Silana
	1007	Si-O-Si	Siloksan
	864	Si-C	Siloksan
	786	Si-CH ₃	Silana
	694	Si-O bend	Siloksan
Silikon-Bluesil Catalyst 60R	2962	C-H stretch	Alkana
	2363	Si-C stretch	Siloksan
	1412	O-H bend	Hidroksil
	1258	Si-CH ₃	Silana
	1007	Si-O-Si	Siloksan
	864	Si-C	Siloksan
	786	Si-CH ₃	Silana
	694	Si-O bend	Siloksan
Silikon Benzoil Peroksida	2962	C-H stretch	alkana
	2901	-O-CH ₃	Aromatik
	1701	C-H	Aromatik
	1412	O-H bend	Hidroksil
	1258	Si-CH ₃	Silana
	1007	Si-O-Si	Siloksan
	864	Si-C	Siloksan
	787	Si-CH ₃	Silana
	694	Si-O Bend	Siloksan
	660	C-C	Alkana

Tabel 4.1 menunjukkan bahwa selisih daerah serapan antara karet silikon murni tanpa katalis dengan karet katalis *Bluesil Catalyst 60R* dan karet silikon dengan katalis *Benzoil peroksida* tidak begitu besar. Semua ikatan yang ada pada karet silikon (PDMS) tanpa katalis atau murni ada pada karet dengan penambahan katalis *Benzoil peroksida* dan *Bluesil Catalyst 60R*. Namun daerah serapan 2363 pada *Bluesil Catalyst 60R* tidak dimiliki oleh *Benzoil peroksida*. Daerah serapan ini mengandung ikatan Si-C stretch. Begitu juga, Pada *Benzoil peroksida* ada 3 daerah yang tidak ada pada katalis *Bluesil Catalyst 60R* yaitu di 2901, 1701 dan 660. Masing-masing daerah tersebut mengandung ikatan $-O-CH_3$ gugus aromatic, Ikatan C-H gugus Aromatik, dan 660 C-C gugus alkana. Gugus aromatic menunjukkan bahwa hasil dari reaksi samping proses radikal bebas saat proses *crosslink*. Pada ikatan C-C menunjukkan adanya pengaruh dari proses katalis seperti pada gambar 4.1. Ikatan ini ada akibat dari proses vulcanisasi. Hal ini berarti sesuai dengan gambar 4.2. Gugus fungsi yang paling banyak adalah gugus siloksan (Si-O) dan gugus fungsi alkana yang diwakili oleh metil (Si-CH₃). Maka dapat disimpulkan bahwa silikon RTV merupakan poli (dimetilsiloksan) yang ikatan kimianya secara umum tidak berubah/berikatan dengan penambahan *curing catalyst Bluesil Catalyst 60R* dan *Benzoil Peroksida (BPO)*. Struktur kimia secara umum PDMS poli(dimetilsiloksan) bisa dilihat pada Gambar 4.6



Gambar 4.6 struktur polimer karet silikon PDMS

Pengujian FTIR (IR Spectra) yang kedua digunakan untuk mengidentifikasi ikatan kimia pada katalis *Bluesil Catalyst 60R* dan katalis *Benzoil peroksida*. Hal ini dilakukan untuk mengetahui ikatan dimasing-masing katalis. Gambar 4.7 menunjukkan grafik daerah serapan antara katalis *Bluesil Catalyst 60R* dengan *Benzoil peroksida*. Kedua grafik tersebut memiliki perbedaan yang cukup signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa ikatan kimia dimasing-masing katalis mempunyai karakteristik tersendiri. Karakteristik ini yang akan mempengaruhi sifat dari katalis tersebut. *Peak-peak* yang terbentuk diidentifikasi masing-masing, sehingga dapat dikenali penyusun senyawa tersebut. Selain itu juga dapat dianalisa masing-masing ikatannya.

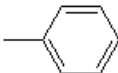


Gambar 4.7 Hasil uji FTIR untuk katalis *Bluesil Catalyst 60R* dan *Benzoil Peroksida*

Tabel 4.2 menunjukkan puncak serapan pada *bluesil catalyst 60 R* menunjukkan adanya gugus eter, aromatik, aldehida, alkena dan alkana. Berdasarkan referensi, senyawa tersebut *Dioctyle tin Oxide*. Katalis Bluesil merupakan metal katalis dimana ada kandungan metal pada katalis. Komposisi metal yang terdapat pada katalis didapat berdasar pengujian AAS (*Atomic Absorbsion Spectrum*). Komposisi Sn/timah didapat sebesar 2,27 % pada katalis ini. Sedangkan katalis Benzoil Peroksida memiliki gugus aromatic, hidroksil, peroksida, Fenil dan peracids dimana tidak adanya kandungan

metal pada katalis. Daerah serapan masing-masing katalis terdapat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Analisa daerah serapan dan ikatan kimia katalis
Bluesil Catalyst 60R dan Benzoil Peroksida

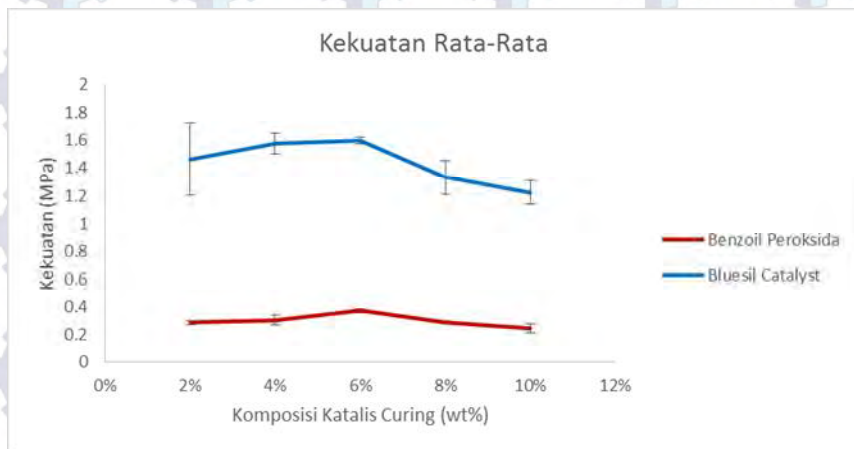
Jenis Katalis	Daerah Resapan (cm-1)	Ikatan	Gugus
Bluesil Catalyst 60R	2974	C-H	alkana
	2928	CH ₂ atau CH ₃ CO	alkil
	1739	C=O	aldehid
	1444	CH ₃	alkana
	1054	C-O	eter
	966	CH=CH	alkena
	791	C-H out of plane	aromatik
Benzoil Peroksida	3351	H ₂ O	Hidroksil
	2159	C-O	Carbonyl
	1782	C=O	Peracids
	1756	C=O	Peracids
	1449	C=C	Aromatic
	1219	C-O	Peroksida
	996	C-H	Aromatic
	843	O-O	Peroksida
	792	C-H	Aromatic
	690		Fenil

4.3 Studi kekuatan Tarik Karet Silikon

Pengujian Tarik ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kekuatan Tarik maksimum, regangan/keuletan, dan modulus elastisitas. Karet silikon yang digunakan adalah hasil dari vulkanisasi dengan menggunakan katalis *Benzoil peroksida* dan *Bluesil Catalyst 60R*. Pengujian ini dilakukan dengan standar ASTM D638M menggunakan mesin Tarik Autograph. Spesimen uji Tarik seperti yang terlihat pada Gambar 4.8. pengukuran diulang sebanyak 3 kali untuk tiap komposisi specimen. Kecepatan penarikan saat pengujian adalah 5 mm/detik. Bagian grip dibungkus dengan kertas ketika proses penarikan. Hal ini dilakukan agar specimen saat penarikan tidak lepas. Hasil pengukuran mesin Tarik berupa data gaya dan pertambahan panjang. Perhitungan kekuatan dilakukan dengan membagi gaya yang terukur pada titik patah terhadap luas penampang daerah gage. Perhitungan keuletan (*elongation*) dilakukan dengan cara membagi pertambahan panjang gage pada titik patah terhadap panjang gage mula-mula. Modulus young didapatkan dengan membagi kekuatan terhadap keuletan (*elongation*). Nilai rata-rata dan standar deviasi kemudian diambil dari setiap komposisi. Kekuatan karet silikon polidimetilsiloksan (PDMS) dengan Bluesil 60R dan Benzoil peroksida ditunjukkan pada gambar 4.9



Gambar 4.8 Spesimen uji Tarik



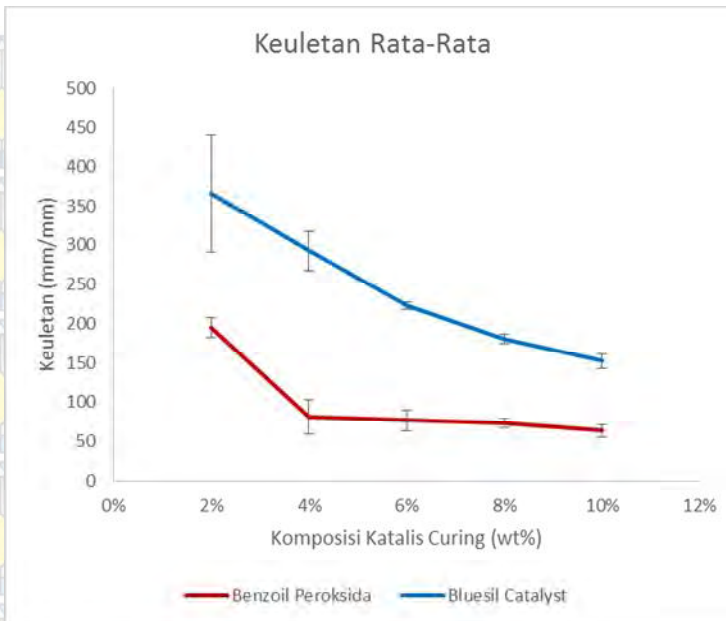
Gambar 4.9 Grafik uji Tarik karet silikon

Gambar 4.9 adalah grafik perbandingan kekuatan Tarik karet silikon pada jenis dan komposisi katalis yang berbeda. Grafik tersebut menunjukkan adanya peningkatan kekuatan Tarik pada komposisi 2-6wt% pada 2 katalis yang berbeda. Akan tetapi, penambahan katalis di atas komposisi tersebut

justru menyebabkan penurunan kekuatan tarik. Puncak kekuatan tarik karet silikon dengan katalis *Bluesil Catalyst 60R* didapat pada komposisi katalis 6wt% yaitu 1,598 MPa. Sedangkan pada karet dengan katalis *Benzoil peroksida* puncak kekuatan Tariknya dicapai pada komposisi yang sama, 6wt% dengan kekuatan sebesar 0,371 MPa. Kekuatan paling minimum dari karet silikon dengan katalis *Benzoil peroksida* dan *Bluesil Catalyst 60R* secara berurutan adalah 0,245 MPa dan 1,22 MPa pada komposisi katalis 10wt%. Perbedaan yang ada pada keduanya sangat jauh dalam hal kekutan tariknya, hal ini dikarenakan pada karet silikon dengan katalis *Benzoil peroksida* saat pengujian Tarik mengalami initiation crack pada karet yang berongga.

Penyebab adanya rongga ini karena sifat dari benzoil peroksida saat proses vulkanisasi. Pada saat proses tersebut Benzoil peroksida mengalami penguapan karena adanya kandungan air pada katalis tersebut. Penguapan ini proses dari radikal bebas guna membentuk ikat silang. Radikal bebas ini akan bereaksi dengan metil dari gugus siloksan, kemudian bereaksi dengan hydrogen dan lepas dari CH_2 yang reaktif. Selanjutnya radikal bebas ini akan selalu berikatan dengan cabang $-\text{CH}_2$ hingga membentuk ikat silang atau (crosslink). Reaksinya seperti Gambar 4.2.

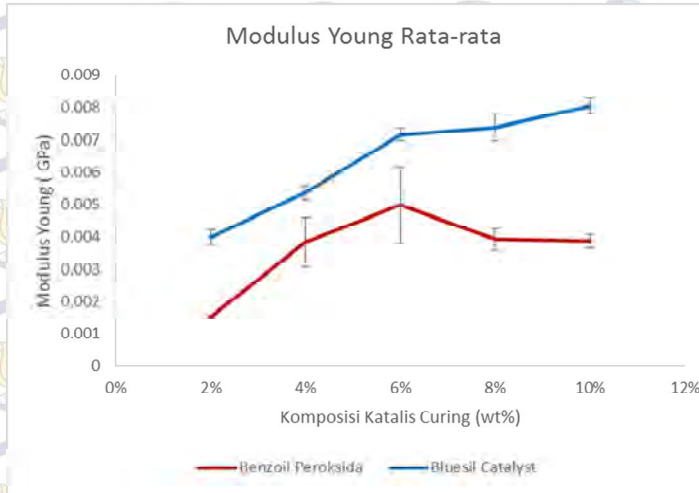
Disamping pengujian Tarik, hasil uji Tarik juga berupa pengaruh jenis katalis dan komposisi katalis pada regangan atau regangan karet silikon. Regangan karet silikon dengan katalis *Benzoil peroksida* dan katalis *Bluesil Catalyst 60R* ditunjukkan oleh Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Grafik Keuletan/regangan rata-rata karet silikon

Regangan/keuletan karet silikon dengan katalis *Bluesil Catalyst 60R* lebih unggul dengan nilai 366,492 % pada komposisi katalis 2 %. Nilai ini sangat jauh jika dibandingkan dengan karet silikon dengan katalis *Benzoil peroksida* hanya sebesar 194,725 % pada komposisi katalis 2wt%. Pengaruh dari penambahan komposisi katalis menyebabkan penurunan terhadap nilai regangan masing-masing karet silikon. Nilai minimum regangan pada masing-masing karet terjadi pada komposisi 10wt% dengan katalis *Benzoil peroksida* 63,173 % dan *Bluesil Catalyst 60R* sebesar 152,042 %. Hasil tersebut dapat memrepresentasikan keuletan karet silikon dengan katalis Benzoil peroksida dua kali lebih kecil dibandingkan dengan karet silikon dengan *Bluesil Catalyst 60R*.

Hasil uji Tarik lain yang dianalisa adalah nilai *modulus young* dari karet silikon. Modulus young ini bisa diartikan sebagai tingkat kekakuan karet silikon. Semakin tinggi *modulus young* berarti semakin tinggi kekakuan dan semakin rendah regangannya. Grafik tersebut ditunjukkan pada gambar 4.11.



Gambar 4.11 Grafik modulus young

Tingkat kekakuan yang paling tinggi ditunjukkan oleh karet silikon dengan katalis Bluesil Catalyst pada komposisi katalis 10wt% yaitu 0,008 Gpa. Pada komposisi yang sama karet silikon dengan katalis benzoil peroksida mempunyai kekakuan sebesar 0,0038 Gpa. Hal ini berbeda dimana saat komposisi 10wt% pada benzoil peroksida menunjukkan kekakuannya menurun. Kekakuan tertinggi pada katalis benzoil peroksida saat komposisi 6wt% sebesar 0,0049 Gpa. Kekakuan tersebut karena dipengaruhi oleh porositas/ rongga udara pada karet, dimana semakin banyak komposisi katalis menyebabkan semakin banyak porositas/*pores* rongga udara. Sedangkan kekakuan terendah pada karet silikon - bluesil catalyst dan karet silikon-Benzoyl peroksida pada komposisi

katalis 2wt% sebesar 0,0039 dan 0,0015 Gpa. Lebih lengkapnya pada tabel 4.3 dan tabel 4.4

Tabel 4.3 Sifat Mekanik Karet silikon -Benzoil peroksida

Material (wt%)	Kekuatan Tarik (MPa)	Elongation (%)	Modulus Young (Gpa)
Silikon-BPO(2)	$0,284 \pm 0,01$	$194,7 \pm 12,85$	$0,0015 \pm 4.10^{-5}$
Silikon-BPO(4)	$0,301 \pm 0,03$	$80,61 \pm 21,98$	$0,0039 \pm 0,00075$
Silikon-BPO(6)	$0,371 \pm 0,02$	$76,36 \pm 13,53$	$0,0049 \pm 0,0012$
Silikon-BPO(8)	$0,284 \pm 0,01$	$72,66 \pm 6$	$0,0039 \pm 0,00035$
Silikon-BPO(10)	$0,245 \pm 0,03$	$63,17 \pm 7,43$	$0,0038 \pm 0,0002$

Tabel 4.4 Sifat Mekanik Karet silikon- Bluesil Catalyst

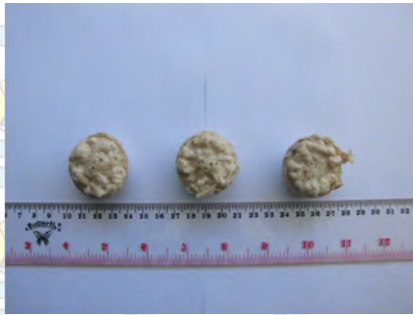
Material Karet(wt%)	Kekuatan Tarik (MPa)	Elongation (%)	Modulus Young (Gpa)
Silikon-Bluesil(2)	$1,46 \pm 0,259$	$366,49 \pm 74,96$	$0,0039 \pm 0,0002$
Silikon-Bluesil(4)	$1,58 \pm 0,07$	$292,56 \pm 25,33$	$0,005 \pm 0,0002$
Silikon-Bluesil(6)	$1,59 \pm 0,03$	$222,58 \pm 4,61$	$0,007 \pm 0,0002$
Silikon-Bluesil(8)	$1,33 \pm 0,12$	$180,1 \pm 5,93$	$0,007 \pm 0,0004$
10	$1,22 \pm 0,08$	$152,04 \pm 9,29$	$0,008 \pm 0,0002$

Berdasarkan hasil analisa diatas dapat disimpulkan bahwa katalis *Bluesil Catalyst 60R* memberikan kekuatan tarik paling tinggi pada karet silikon dengan komposisi 6wt% yaitu 1,598 MPa. Sedangkan *Benzoil peroksida* mempunyai kekuatan Tarik tertinggi sebesar 0,371 MPa pada komposisi 6%. Akan tetapi, perbedaanya sangat jauh nilainya dengan katalis *Bluesil Catalyst 60R*. Dapat dikatakan sifat mekanik dari karet silikon atau PDMS-Benzoil peroksida sangat rendah dibandingkan karet silikon atau PDMS-*Bluesil Catalyst 60R*. Rendahnya sifat mekanik dikarenakan pada benzoil peroksida mengandung gugus benzene. Gugus ini yang menyebabkan kekuatannya rendah. Hal ini berlaku juga dengan regangan maupun modulusnya.

4.4 Studi Pengujian Tekan

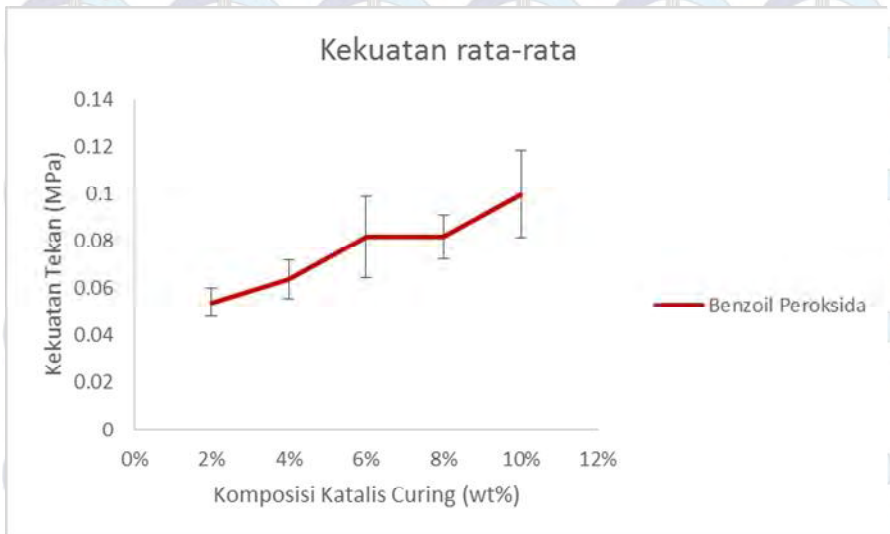
Pengujian tekan (*compressive test*) ini bertujuan untuk mengetahui kekutan tekan karet silikon (PDMS). Pengujian ini untuk karet dengan katalis Benzoil Peroksida karena aplikasinya untuk *foam*. Pengujian ini menggunakan standar ASTM D575 mesin Tarik Autograph. Mesin yang digunakan sama dengan mesin uji Tarik. Perbedaanya hanya pada arah gayanya. Specimen uji dicetak bentuk selinder sesuai dengan standarnya. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.12.

Pengukuran yang dilakukan diulang sebanyak 3 kali untuk setiap komposisi. Kecepatan penekanan pada saat pengujian sebesar 5 mm/detik. Hal ini sesuai dengan standar yang digunakan. Bagian atas permukaan specimen uji dilapisi kertas agar bidang tekan tidak menempel pada alat. Tinggi specimen 2 kali dari diameternya. Pengukuran dilakukan dengan penekanan pada specimen. Penekanan dihentikan saat specimen mengalami kerusakan yang pertama saat penekanan dilakukan. Gambar 4.12 menunjukkan specimen uji tekan.



Gambar 4. 12 spesimen uji tekan

Gambar 4.13 menunjukkan grafik kekuatan tekan dari karet silikon katalis benzoil peroksida.



Gambar 4.13 grafik kekuatan tekan karet silikon Benzoil Peroksida

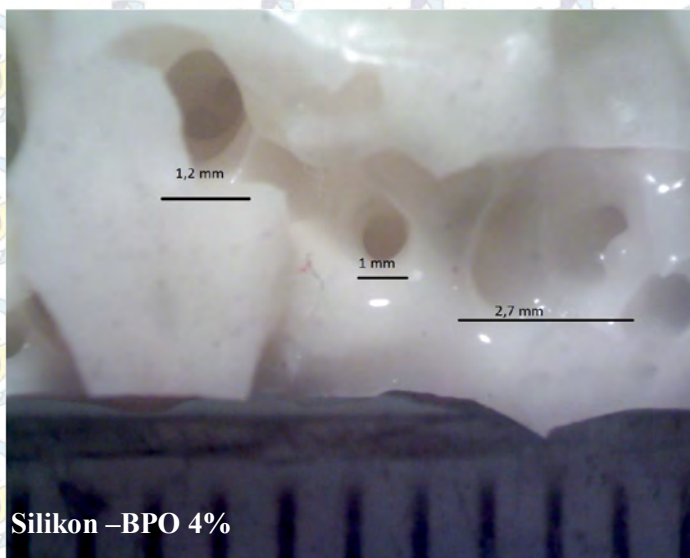
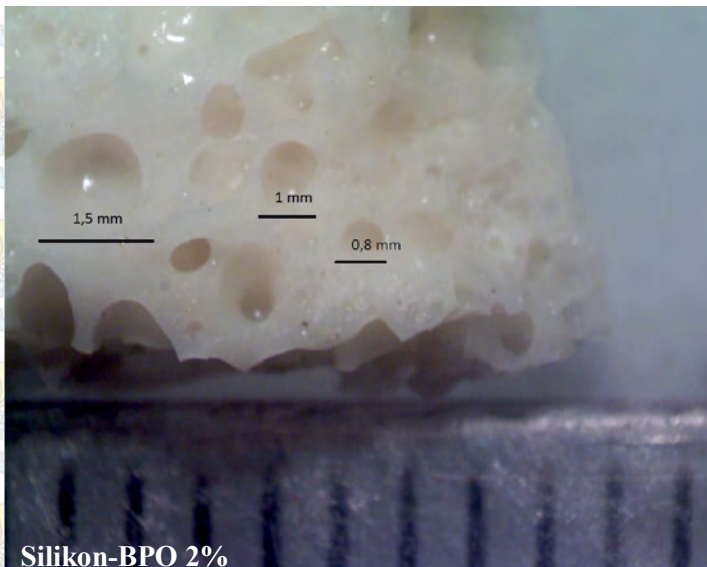
Pada komposisi 10wt% menunjukkan maksimum kekuatan tekannya sebesar 0,099 MPa. Sedangkan pada

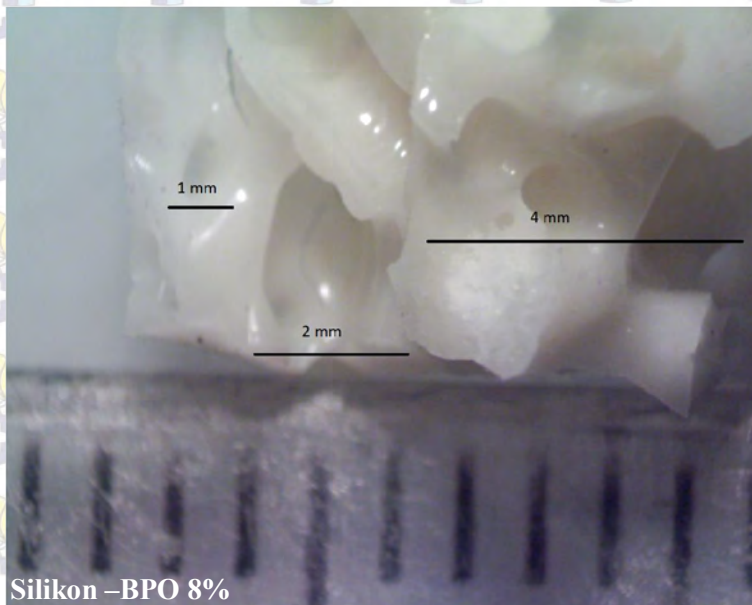
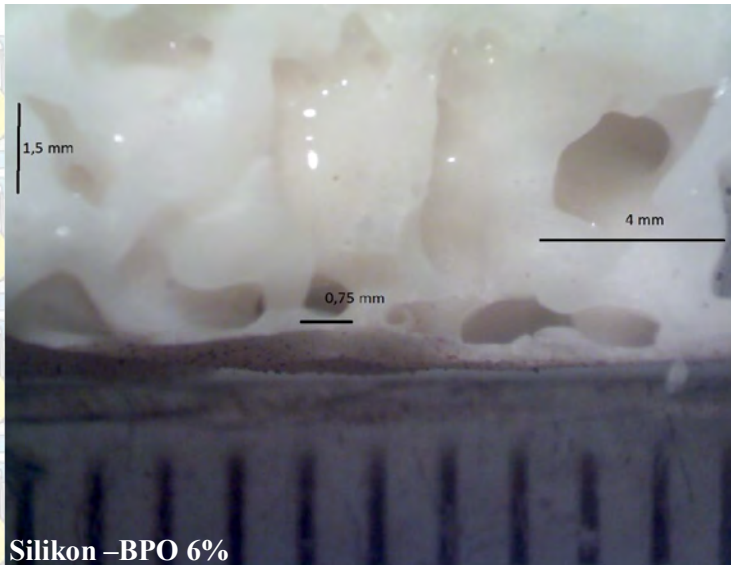
komposisi 2 wt% merupakan kekuatan minimum dari karet silikon sebesar 0,054 MPa. Pada gambar grafik menunjukkan bahwa semakin besar komposisi katalis maka kekuatan tekannya semakin besar. Hal ini sebenarnya menunjukkan perbedaan karena dengan rongga udara yang semakin besar, seharusnya kekuatan tekannya menurun. Akan tetapi hasil pengujian menunjukkan semakin meningkat. Hal ini karena semakin banyaknya ikatan crosslink yang terbentuk sehingga menyebabkan karet semakin kaku. Dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi komposisi katalis maka akan berbanding lurus dengan kekuatan tekannya. Sifat inilah yang nantinya diaplikasikan pada foam pengganti polimer lainnya.

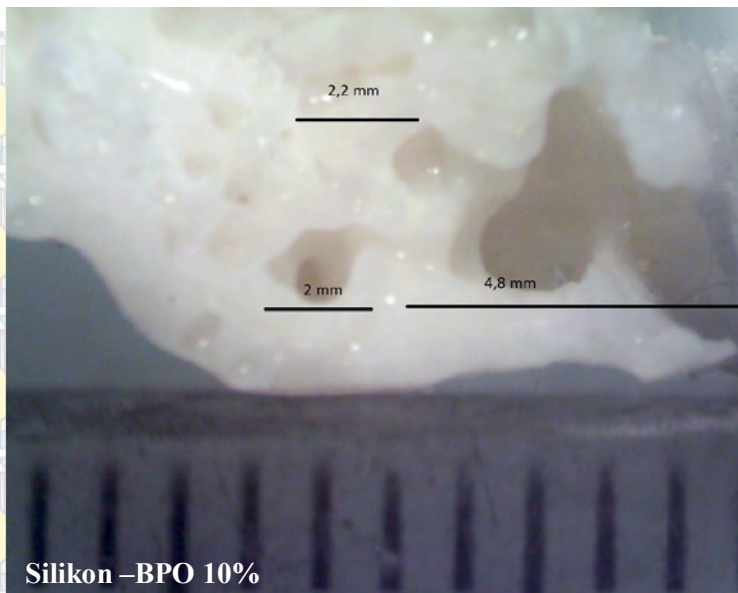
4.5 Morfologi Karet Silikon (*silicone rubber*)

Pengamatan skala makro dilakukan untuk mengetahui morfologi dari permukaan karet silikon (*silicone rubber*). Pada gambar menunjukkan adanya rongga udara (*bubble*) atau *pores* pada foam karet silikon. . Pengamatan secara makro ini dilakukan pada potongan dari specimen uji Tarik. Variasi komposisi yang digunakan 2%, 6%, dan 10% dikarenakan komposisi tersebut sudah mewakili dari perilaku mekanik (uji Tarik).

Morfologi dari hasil pengamatan menunjukkan *pores* atau rongga udara tidak tersambung (*not connected*) dengan bentuk *pores* polyghonal atau tidak beraturan. Pada gambar 4.14 menunjukkan morfologi makro dari *foam silicone rubber*. Gambar tersebut menunjukkan semakin besar komposisi dari *curing catalyst* (katalis curing) maka *pores* atau rongga udara semakin besar. Rongga udara atau *bubble* inilah yang mempengaruhi sifat mekanik dari karet silikon khususnya kekuatan mekaniknya. Pada karet silikon-BPO 2% rata-rata panjang porosnya sebesar 1,1 mm, silikon-BPO 4% panjang rata-ratanya 1,3 mm, silikon-BPO 6% sebesar 2,08 mm, silikon-BPO 8% rata-rata panjangnya 2,3 mm dan pada karet silikon-BPO 10% panjang rata-ratanya sebesar 3 mm.





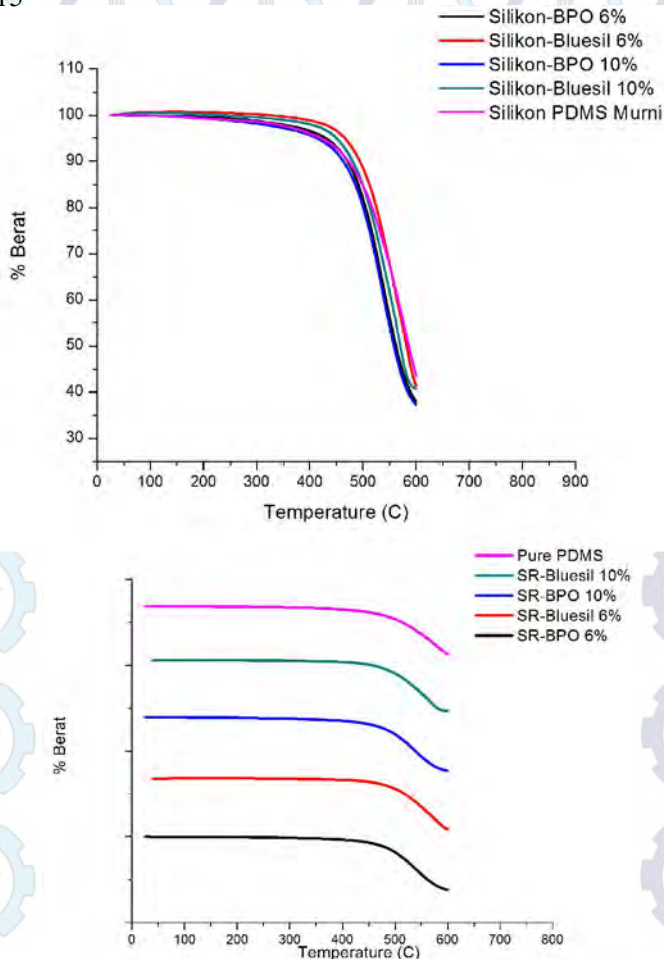


Gambar 4.14 Morfologi foam Karet Silikon

4.3 Studi Stabilitas Termal Karet Silikon

Stabilitas termal dari karet silikon polidimetilsiloksan (PDMS) dengan penambahan katalis curing diketahui melalui pengujian *Thermo Gravimetry Analyzer* (TGA). Pengujian ini dilakukan dengan memanaskan karet silikon tipe PDMS dari temperature 25°C-600°C dalam sebuah ruangan uji. Selama pemanasan berat sampel akan ditimbang dengan mengukur berat sampel terhadap berat material standar. Pada saat proses pemanasan terjadi pengurangan berat sampel. Perubahan berat sampel inilah terekam oleh alat TGA. Pengurangan berat sampel ini kemudian diubah menjadi data persentase (%) pengurangan berat sampel. Kemudian dicatat temperature yang dibutuhkan untuk mengurangi 5% dari massa sampel

mula-mula ($T_{d5\%}$) dan ($T_{d10\%}$). Berat sisa sampel pada temperature 600°C juga akan tercatat. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan alat Metler Toledo. Hasil uji TGA berupa kurva pengaruh peningkatan temperatur terhadap pengurangan massa sampel yang ditunjukkan pada Gambar 4.15



Gambar 4.15 Hasil uji TGA komposisi katalis 6wt%

Gambar 4.15 menunjukkan stabilitas termal dari karet silikon tanpa penambahan katalis (*pure PDMS*), Penambahan katalis *Bluesil Catalyst 60R*, penambahan *curing agent*/katalis *Benzoil Peroksida* pada komposisi katalis sebesar 6wt% dan 10wt%.

Pada karet silikon tanpa penambahan katalis (*pure PDMS*), pengurangan berat 5% terjadi pada temperatur 421°C, sedangkan pengurangan berat 10% pada temperatur 473°C. berat sisa saat temperatur 600°C sebesar 43.59 %.

Pada komposisi katalis sebesar 6wt%, saat Pengurangan berat 5% oleh *Benzoil Peroksida* pada temperatur 430 °C, sedangkan, *Bluesil Catalyst 60R (Dioclyle tin Oxide)* pada temperatur 466 °C. Pada temperature 471 °C PDMS dengan katalis *Benzoil Peroksida* telah berkurang 10% beratnya, sedangkan *Bluesil Catalyst 60R* saat temperature 494 °C telah berkurang 10% dari beratnya. Kestabilan karet silikon dengan *curing agent*/katalis *Benzoil Peroksida* ditunjukkan dengan berat sisa saat temperature 600 °C sebesar 38% dari berat awal. Karet silikon *Bluesil Catalyst 60R* ditunjukkan dengan berat sisa saat temperature 600°C sebesar 41.45% dari berat awal karet.

Pengujian TGA yang kedua dilakukan pada komposisi 10wt% katalis. Hal ini dilakukan sebagai pembanding dengan komposisi yang 6wt%. Temperature pada saat kehilangan berat 5% dari berat awal untuk katalis *Benzoil peroksida* dan *Bluesil Catalyst 60R* masing-masing temperaturnya sebesar 414°C dan 450°C. Saat kehilangan berat 10% dari berat awal temperatur untuk *curing agent* (katalis) *Benzoil peroksida* dan *Bluesil Catalyst 60R* sebesar 463°C dan 480°C. kestabilan karet silikon katalis *Benzoil peroksida* dan *Bluesil Catalyst 60R* menunjukkan sisa berat masing-masing 37.3% dan 40.8%

saat temperature akhir 600°C. Hal ini lebih jelasnya ditunjukkan dalam tabel 4.5.

Tabel 4.5 Stabilitas Termal karet silikon

No	Material Karet(wt%)	T _d 5%	T _d 10%	T 600°C (wt%)
1	Silikon PDMS Murni	421	473	43.59
2	Silikon-BPO(6)	430	471	38
3	Silikon-Bluesil(6)	466	494	41.45
4	Silikon-BPO(10)	414	463	37.3
5	Silikon-Bluesil(10)	450	480	40.8

Berdasarkan uraian hasil pengujian TGA diatas, maka dapat disimpulkan bahwa semakin banyak komposisi katalis menunjukkan kestabilannya semakin menurun. Perbandingan komposisi 6% dan 10% menunjukkan kestabilan termal lebih baik pada katalis dengan penambahan komposisi 6%. *Bluesil Catalyst 60R* saat komposisi katalis 6 %. Akan tetapi, hasil dari *Benzoil peroksida* tidak terlampaui jauh selisihnya. Selain itu,. Steven (2001) menyatakan bahwa ikatan Si-Si (silane) jauh lebih lemah daripada ikatan C-C. Sedangkan ikatan Si-O lebih stabil daripada ikatan silikon (C-C). Energi ikatan Si-O sebesar 106.0 kcal/mol, energi ini lebih besar daripada ikatan C-C sebesar 84,9 kcal/mol. Besarnya energi ikatan ini menyebabkan tingkat ketahanan yang tinggi terhadap panas (hingga 315°C).





BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Karet silikon telah berhasil dicuring menggunakan curing katalis komersial Bluesil dan BPO. Kekuatan tarik meningkat seiring penambahan *curing catalyst* (katalis curing) 2-6 wt%. Akan tetapi, terus menurun jika penambahannya diteruskan hingga 10wt%.

1. Kekuatan tekan karet silikon dengan penambahan curing agent (PDMS-Benzoil peroksida) meningkat seiring penambahan komposisi.
2. Morfologi karet silikon-benzoil peroksida berbentuk *polyghonal pores (not connected pores)*.
3. Stabilitas termal dari karet silikon baik dengan penambahan katalis maupun tanpa penambahan katalis menunjukkan tidak terlalu jauh perbedaan stabilitas termal dari karet silikon

5.2 Saran

Penelitian selanjutnya disarankan :

1. Penggunaan vakum untuk mengurangi rongga udara pada karet
2. Menggunakan senyawa metal katalis yang lain untuk mengganti katalis komersial.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Akiba. M., Hashim S.A. 1997. *Vulcanization and Crosslinking Elastomers*. Japan. Polymer Science vol. 22, 475-521.
- Atha.M. 2013. *Pengaruh Jenis Katalis terhadap Kekuatan Tarik dan Stabilitas Termal Poli (dimetilsiloksan) (PDMS) Untuk Lapisan Pelindung Baja*. Surabaya. ITS press
- W. Billmeyer, JR Fred.1984.Textbook of Polymer Science Third edition. New York. A Wiley-Interscience Publication
- Bejenariu, Anca G., Poulsen, Julie O., Skov Anne L and Henriksen L 2009. "A Comparative Study on The Influence of The Platinum Catalys in Poly(Dimethylsiloxane) Based Networks Synthesis". Annual Transactions of The Nordic Rheology Society Vol. 17
- Ciullo, Peter A.. 1996. *Industrial Minerals and Their Uses "A handbook and formulary"*. Noyes Publications
- Chen, DONGzhi, Jiaorong Nie, Shengping Yi, Weibing Wu, Yalan Zhong, Jun Liao, Chi Huang. 2010." Thermal behaviour and mechanical properties of novel RTV silicone rubbers using divinyl-hexa [(trimethoxysilyl)ethyl] -POSS as cross-linker". Polymer Degradation and Stability vol 95 618-625. Elsevier China Ltd.
- Deshpande, Girish dan Mary E. Rezac. 2002. "Kinetic Aspect of Thermal Degradation of Poly(Dimethyl Siloxane) and Poly(Dimethyl Diphenyl Siloxane)". Polymer Degradation and Stability 76 : 17-24
- Gordin, Claudia., Rusu M., Delaite C., Salhi S., Elzein T., Brogly M. 2009. "Crystallinity Behaviour in Poly(ϵ -caprolactone)-b-Poly(dimethylsiloxane) Diblock and Triblock Copolymers through FTIR and DSC". Materiale Plastice 46 No. 1 : 37-42

Haken, J. K. 1972. "Polysiloxane Stationary Phase". *Journal of Chromatography* 73 : 419-44
Haken, J. K. 1977. "Polysiloxane Stationary Phases in Gas Chromatography". *Journal of Chromatography* 141 : 247-288

Hall, A. D., dan M. Patel. 2006. "Thermal Stability of Foamed Polysiloxane Rubbers : Headspace Analysis Using Solid Phase Microextraction and Aalysis of Solvent Extractable Material Using Conventional GC-MS". *Polymer Degradation and Stability* 91 : 2532-2539

Helen So, Amanda S. Fawcett, Heather Sheardown and Michael A. Brook.2013." Surface-active copolymer formation stavilizes PEG droplets and bubbles in silicone foams. *Journal of Colloid and Interface Science* vol 390 : 121-128

John B. Grande, Amanda S. Fawcett, Alex J. McLaughlin, Ferdninand Gonzaga, Timothy P. Bender, Michael A. Brook.2012." Anhydrous formation of foamed silicone elastomers using the PierseRubinsztajn reaction". *Polymer* vol 53 : 3135-3142

Kuo, Alex C. M. 1999. *Polymer Data Handbook*. Oxford : Oxford University Press, Inc

Kim, Tae Kyung, Jeong Koo Kim, Ok Chan Jeong. 2011. " Measurement of nonlinear mechanical properties of PDMS elastomer". *Microelectronic Engineering* vol 88 : 1982-1985. Elserver South Korea Ltd.

Licari, James J., dan Laura A. Hughes. 1990. *Handbook of Polymer Coatings for Electronic*. New Jersey : Noyes Publications

Lixian Song, Ai Lu, Peijie Feng, Zhongyuan Lu.2014." Preparation of silicone rubber foam using supercritical carbon dioxide". *Materials Letters China* vol 121 : 126-128

Liu Yufeng, Yunhui Shi, Dian Zhang, Jiali Li, Guangsu Huang.2013. "Preparation and thermal degradation

behavior of room temperature vulcanized silicone rubber g-polyhedral oligomeric silsesquioxanes". Polymer Vol 54 : 6140-6149. Elsevier China Ltd.

Morton, Maurice. 1963. Introduction to Rubber Technology. New York : Reinhold Publishing Corporation

M. Akiba and A.S. Hashim. 1997. *Vulcanization and Crosslinking in Elastomers*. Great Britain. Elsevier Science Ltd

Miao Liu, Jianren Sun, Quanfang Chen. 2009. "Influences of heating temperature on mechanical properties polydimethylsiloxane". Sensors and Actuators vol 151 : 42-45. Elsevier Ltd.

Nagdi, Khairi. 1993. *Rubber as an Engineering Material : Guidline for Users*. Hanser Publ. : Munich

Odian, George. 2004. *Principles of Polymerization Fourth Edition*. John Wiley & Sons, Inc. New Jersey

Owens, Michael J. 2012. *Advance in Silicone Science 4 - Series Editor : J. Matison's "Silicone Surface Science"*. Springer

Rahimi, A., A. Aiazzi, dan M. Barikani. 1998. "Polysiloxanes : Synthesis and Purification of Silicon Obtained from Iran's Domestic Micronized Sand". Iranian Polymer Journal Vol. 7 No. 2 : 113-119

Raquel Verdejo, Cristina Saiz-Arroyo, Javier Carretero-Gonzalez, Fabienne Barroso-Bujans, Miguel Angel Rodriguez-Perez, Miguel Angel Lopez-Manchado. 2008. "Physical properties of silicone foams filled with carbon nanotubes and functionalized graphene sheets" European Polymer Journal vol. 44 : 2790-2797

Ramesh B. Malla, Brian J. Swanson, Montgomery T. Shaw. 2011. Laboratory evaluation of a silicone foam sealant bonded to various header materials used in bridge expansion joints. United States. Elsevier Science Ltd

Seema, A., Muralidharan M N., Sunny E K., Dayas K R., Sangeetha V H. 2010. "Synthesis and Characterization of

Polydimethyl Siloxane/ Fumed Silica Nanocomposites for high Temperature Adhesive Applications”. International Conference on Advances in Polymer Technology :275-278

Sperling, L. H. (2006). Introduction to Physical Polymer Science. 4th Edition, John Wiley & Son, Inc, New Jersey.

Steven, M. P. (2001). Polymer Chemistry An Introduction. Oxford University Press, Inc. Oxford.

Tomer, Namrata S., dkk. 2012. “Oxidation, Chain Scission and Cross-Linking Studies of Polysiloxanes upon Ageings”. Open Journal of Organic Polymer Materials 2 : 13-22

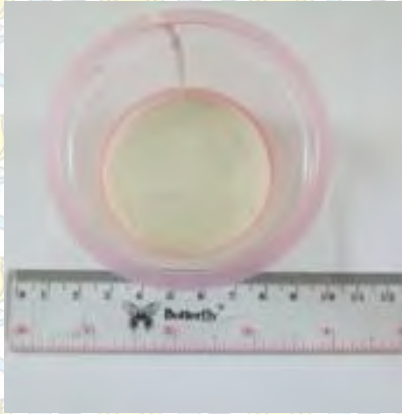
Rhodorsil RTV-585.1998. Technical Data Sheet. Germany. Rhodia.

Wang Xiaoya, Zhidong Xia, BO Yuan, Hu Zhou, Zhe Li, Nannan Chen.2013. “Effect of curing temperature on the properties of conductive silicone rubber filled with carbonyl permalloy powder”. Materials and Design vol 51 : 287-292. Elsiwer China Ltd

Wu, Chung-Liu, Hsueh-Chu Lin, Jiong-Shiun Hsu, Ming-Chuen Yip, Weileun Fang. 2009.” Static and dynamic mechanical properties of polydimethylsiloxane/carbon nanotube nanocomposites”. Thin Solid Films vol 517 4895-4901. Elsiwer Taiwan Ltd.

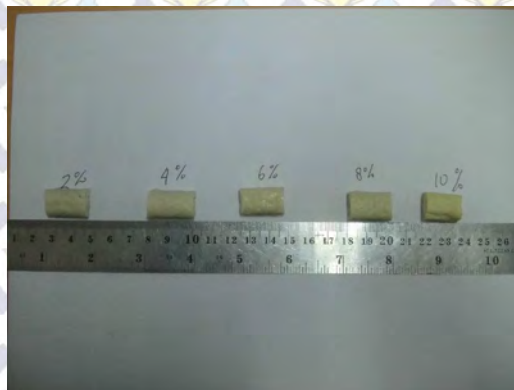
LAMPIRAN A (Dokumentasi)

A.1 Proses Pembuatan Karet Silikon



Gambar A.1 Pembuatan Karet Silikon

A.2 Spesimen Uji FTIR, TGA, dan Morfologi Makro



Gambar A.2 Spesimen Uji FTIR, TGA, dan Morfologi Makr

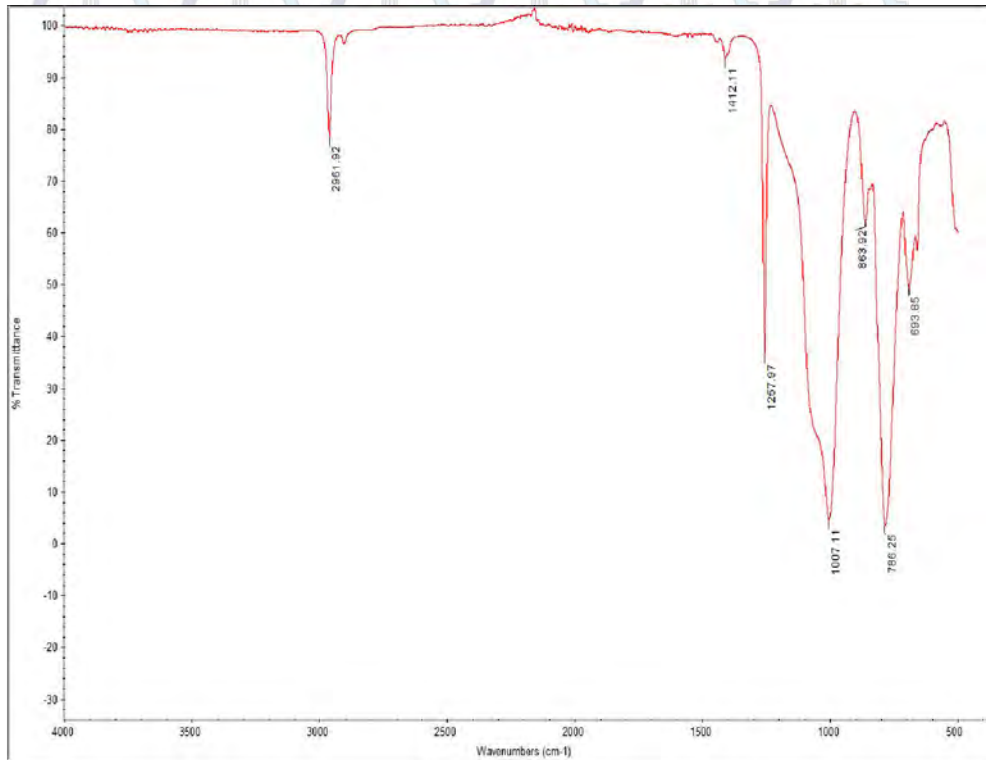
A.3 Spesimen Uji Tarik dan Tekan



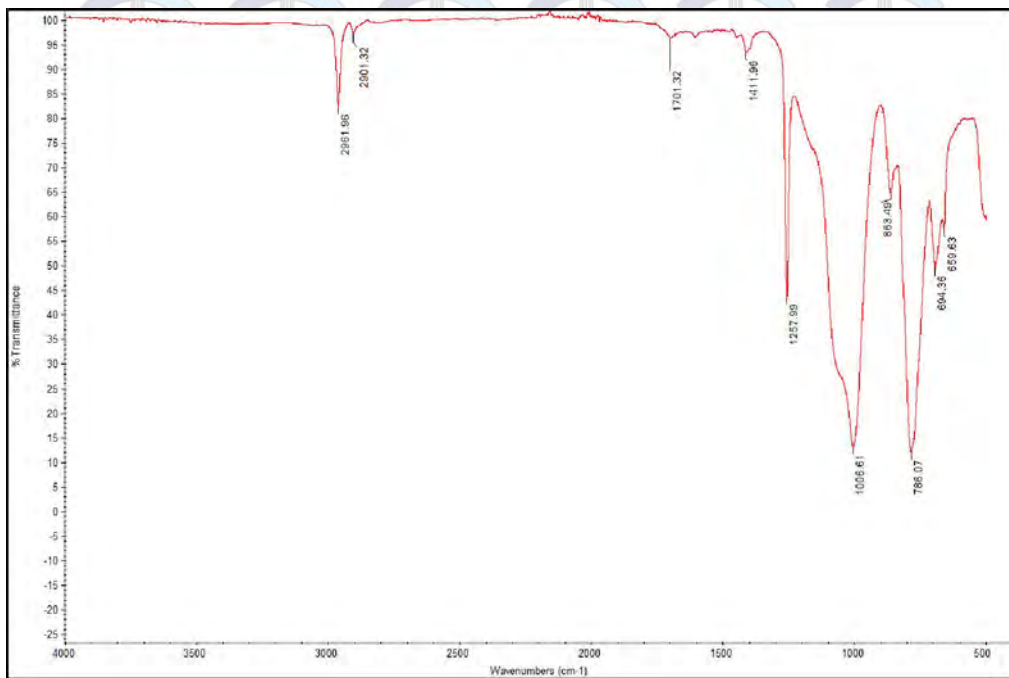
Gambar A.3 Spesimen Uji Tarik dan Tekan

LAMPIRAN B (Hasil Pengujian FTIR)

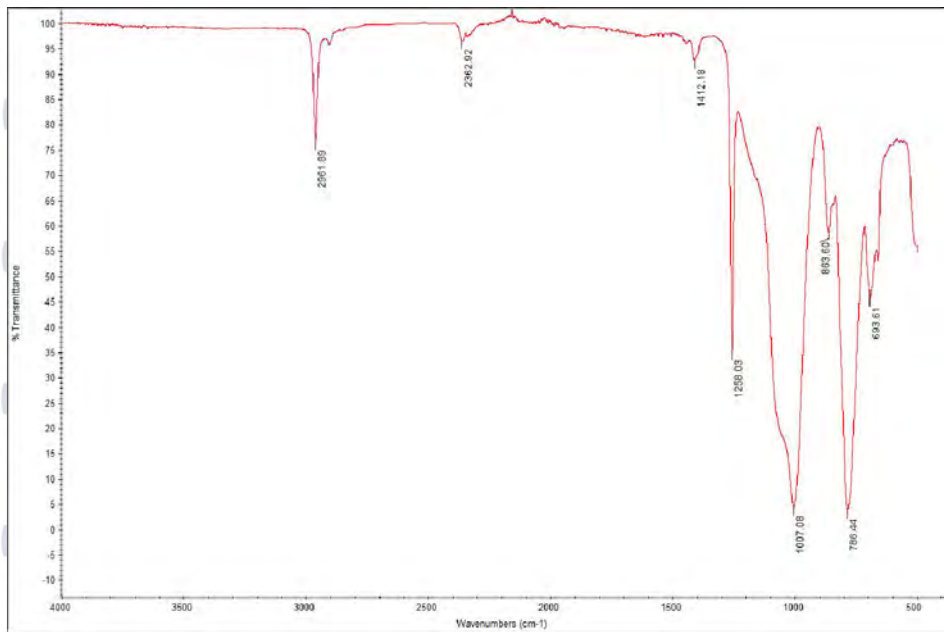
B.1 Pengujian FTIR



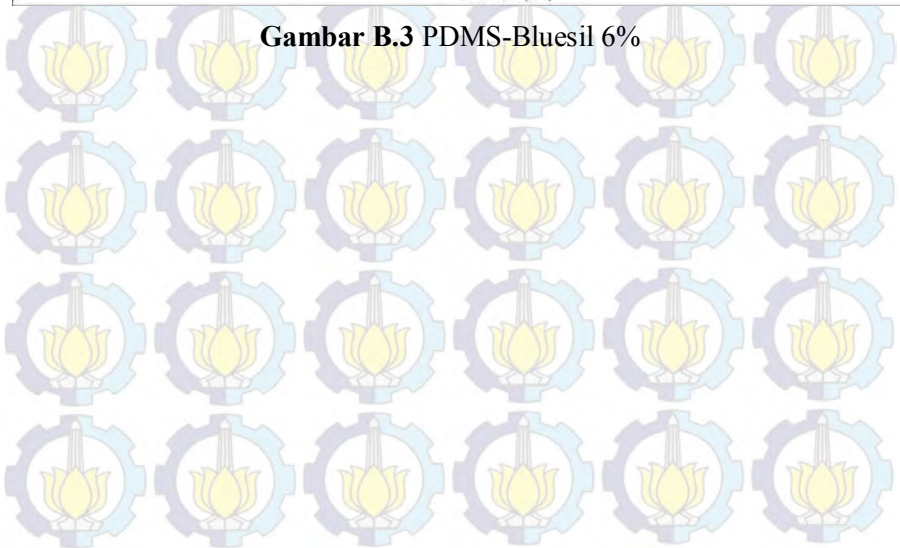
Gambar B.1 Karet Silikon PDMS murni

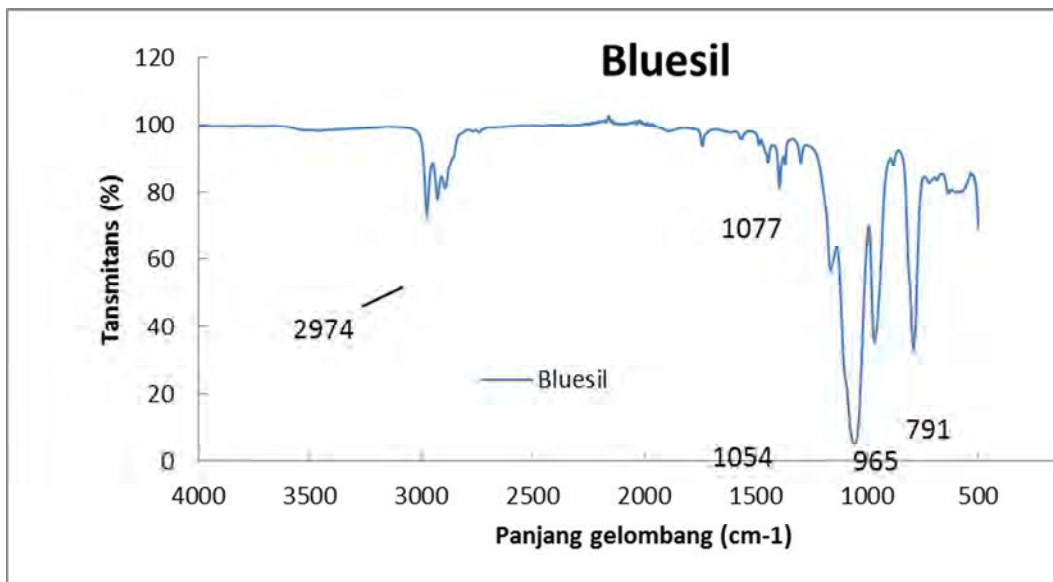


Gambar B.2 PDMS-BPO 6%

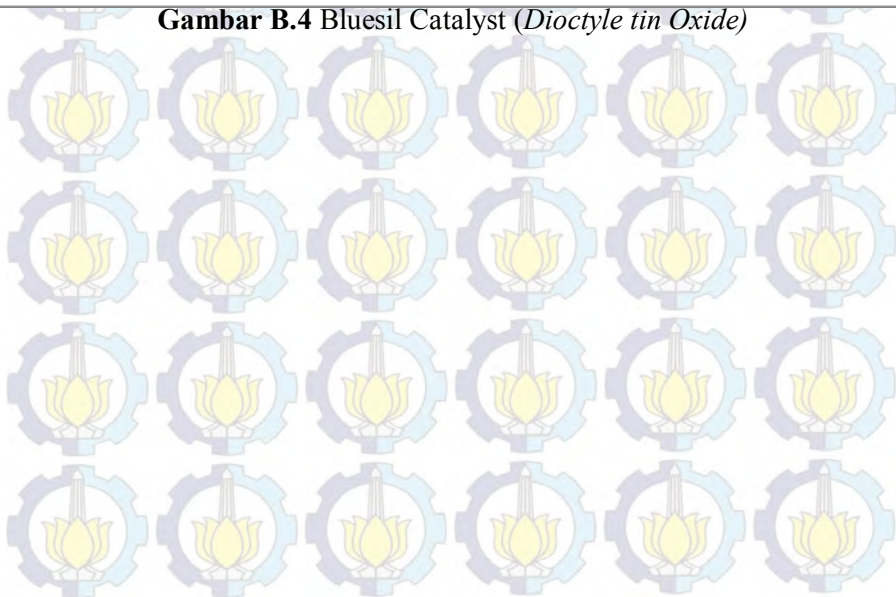


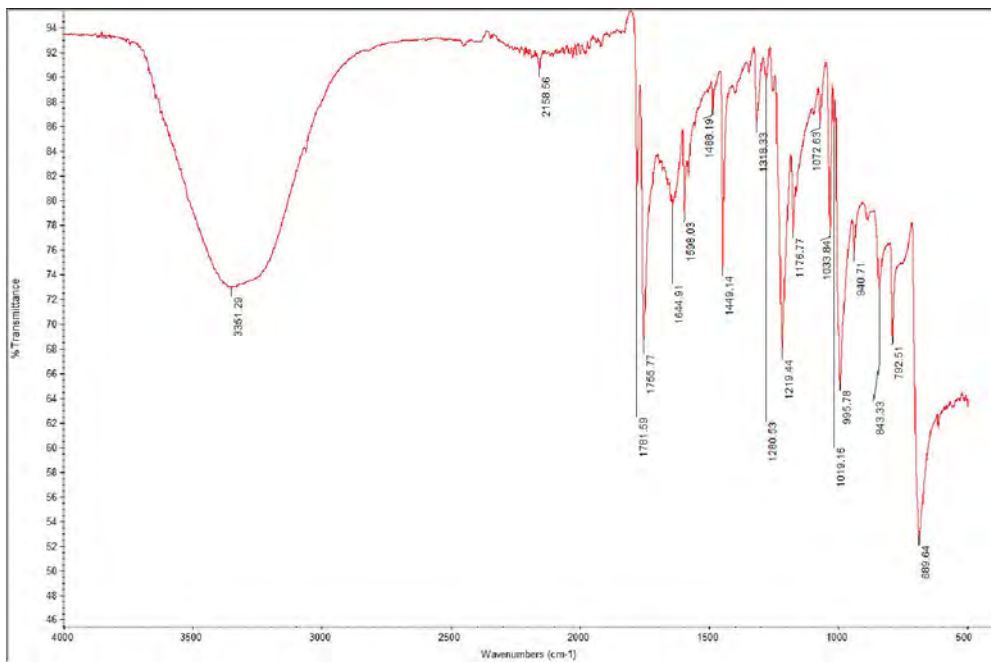
Gambar B.3 PDMS-Bluesil 6%



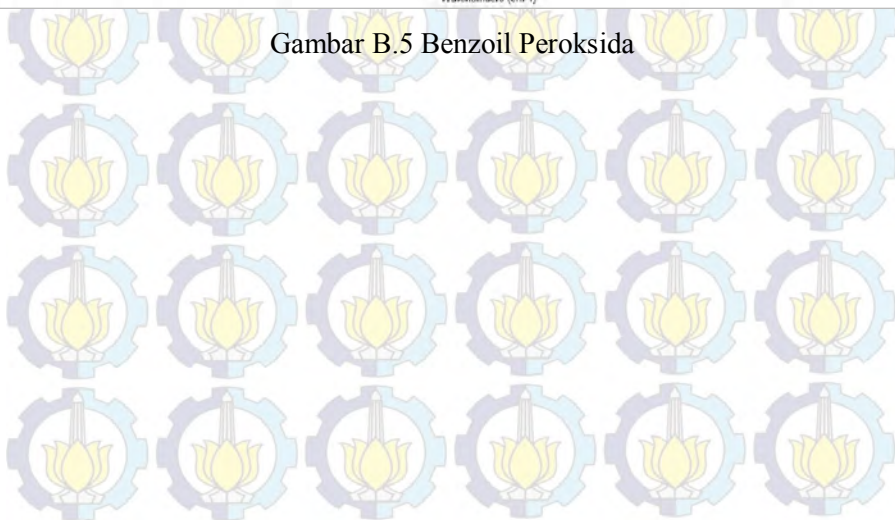


Gambar B.4 Bluesil Catalyst (*Diocetyl tin Oxide*)

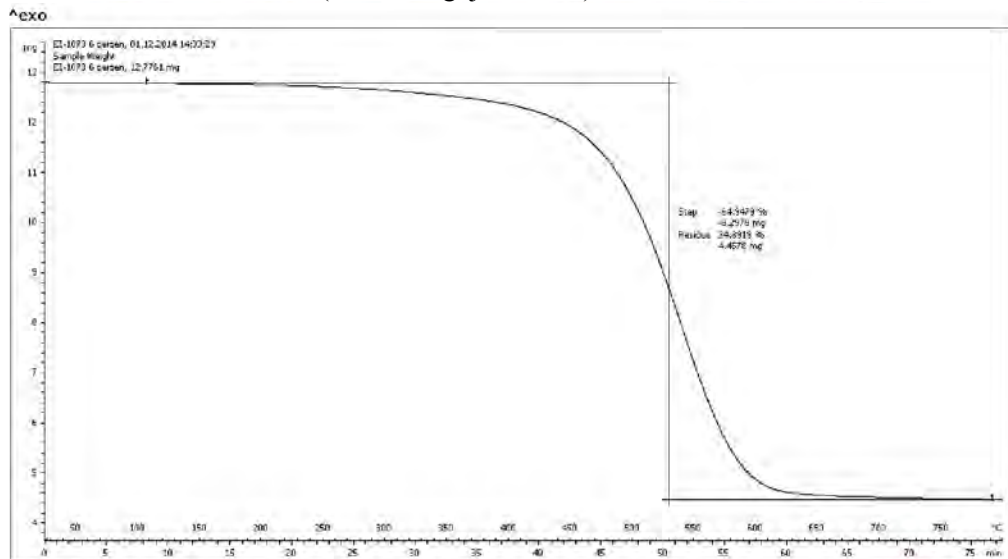




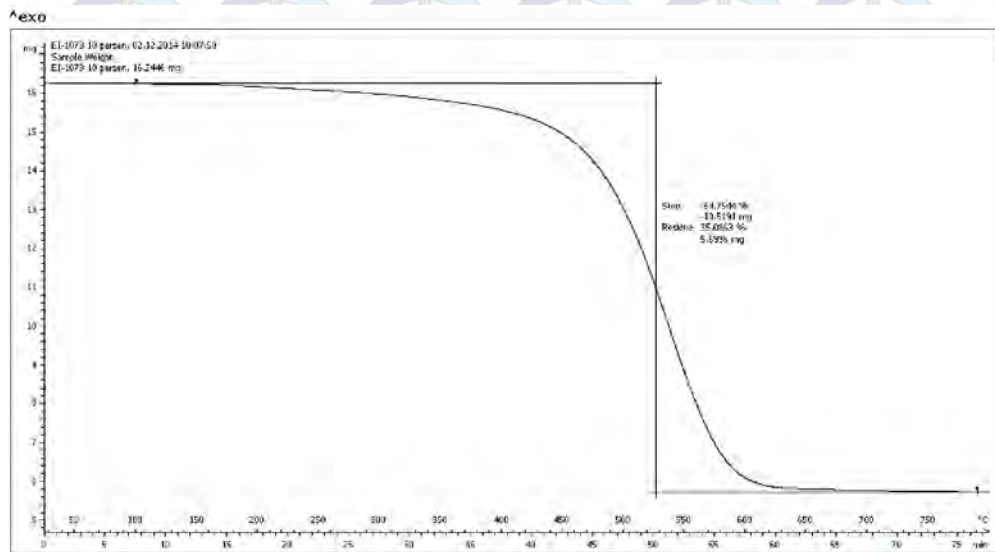
Gambar B.5 Benzoil Peroksida



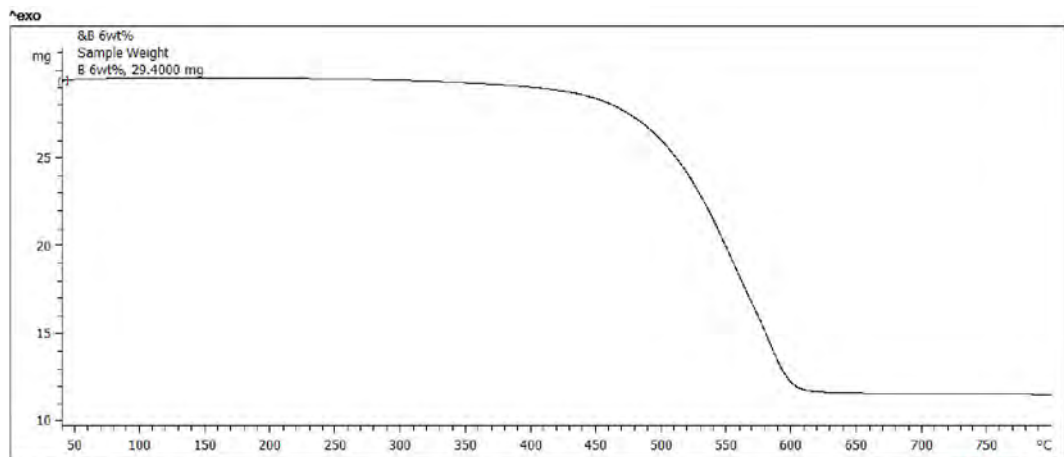
LAMPIRAN C (Hasil Pengujian TGA)



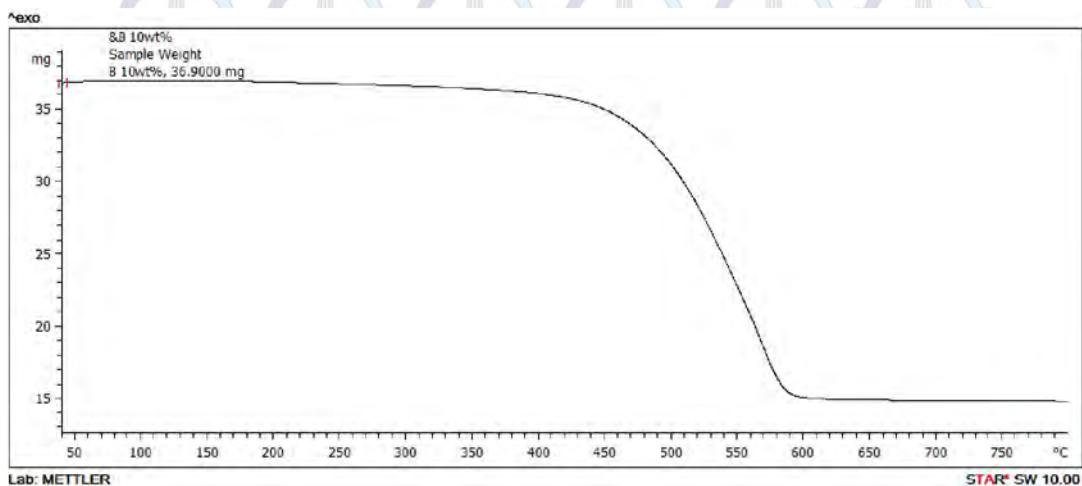
Gambar C.1 PDMS-BPO 6%



Gambar C.3 PDMS-BPO 10%



Gambar C.3 PDMS-Bluesil 6%



Gambar C.4 PDMS-Bluesil 10%



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

JURUSAN KIMIA

Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp. 031-594 3353 Fax. 031-592 8314 e-mail: kimia@its.ac.id

Kepada Yth :

DENI

Mhs T. Material ITS Surabaya

LAPORAN ANALISIS

Subyek : Katalis

No : 807/IT2.1.1.4/PM.05.02/2014

Tanggal : 12 Nop 2014

Metode : ---

Diteliti Oleh : Fataty K

Tanggal diterima sampel : 07 Nop 2014

No	Kode Sampel	Parameter Uji	Hasil Analisa	Metode
1	Padat	Sn	3,55 %	A A S
2	60 R	Sn	2,27 %	
3	T 40	Sn	3,89 %	

Catatan :

- Hasil analisis ini mengacu pada sampel yang diterima laboratorium Kimia ITS dan tidak dapat digunakan sebagai alat bukti hukum
- Pengambilan sampel tidak dilakukan oleh Laboratorium Kimia ITS



BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Deni Budi Utomo, Lahir di Magetan, 13 Agustus 1992. Merupakan putra dari pasangan Bapak Samidi dan Ibu Sariyem. Penulis menumpuh pendidikan formal, yaitu TK Bina Anaprasa Tambakrejo, SD Negeri Tambakrejo, SMPN 1 Magetan dan SMA Negeri 1 Magetan. Setelah lulus dari SMA tahun 2011, penulis mengikuti SNMPTN jalur tulis dan diterima menjadi mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS

pada tahun 2011.

Selama perjalanan karir waktu kuliah, penulis aktif sebagai Staff Keprofesian dan Keilmiahan Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknologi Industri ITS 2012/2013, Wakil Direktur Badan Semi Otonom Mateial Techno Club HMMT FTI-ITS 2013/2014, serta Asisten Laboratorium Kimia Analitik periode 2013/2014.

Penulis pernah melaksanakan kerja praktek di PT. Pertamina Geothermal Energy unit Kamojang, Jawa Barat. Di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ini penulis mengambil Tugas Akhir di Bidang Studi Material Inovatif.

Alamat penulis saat ini adalah Ds. Tambakrejo RT/RW : 4/2 Kec/Kab : Magetan. Nomor telepon yang dapat dihubungi 083845180362 atau via email dengan alamat yang dapat dihubungi denibudiutomo@gmail.com.